

Aus der Abteilung für Werkstoffkunde
(Prof. Dr. Joachim Viohl)
des Instituts für Klinisch-Theoretische Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereichs Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

**Farbveränderungen
von zahnärztlichen Kunststoffen
durch UV-Strahlung**

Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Werner Schulze
aus Berlin

1976

Aus der Abteilung für Werkstoffkunde
(Prof. Dr. Joachim Viohl)
des Instituts für Klinisch-Theoretische Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereichs Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

**Farbveränderungen
von zahnärztlichen Kunststoffen
durch UV-Strahlung**

Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Werner Schulze
aus Berlin



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549010_0034

Referent: Professor Dr. med. dent. Joachim Viohl

Korreferent: Professor Dr. ing. Jürgen Krochmann

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches für Zahn-, Mund-
und Kieferheilkunde an der Freien Universität Berlin



Promoviert am: 29. 11. 1976



INHALTSVERZEICHNIS
=====

Seite

1.	EINLEITUNG	6
2.	HAUPTTEIL	7
2.1.	<u>Schrifttumsübersicht</u>	7
2.1.1.	Chemischer Aufbau zahnärztlicher Kunststoffe	7
2.1.2.	Verfärbung von Kunststoffen	9
2.1.3.	Klinische Untersuchungen der Farb- beständigkeit	11
2.1.4.	Farbmessungen	12
1.	visuell	12
2.	physikalisch	15
2.1.5.	Bestrahlungsquellen	19
2.1.6.	Normen und Normentwürfe	22
2.2.	<u>Eigene Untersuchungen</u>	26
2.2.1.	Verwendete Kunststoffe	26
1.	Auswahl	26
2.	Probenherstellung	29
2.2.2.	Bestrahlungsquellen	32
1.	Auswahl	32
2.	Aufbau	38
3.	Licht- und Strahlungsmessung	40

2.2.3.	Versuchsbedingungen	52
1.	Anforderungen	52
2.	Versuchsaufbau	54
2.2.4.	Vorversuche	56
1.	S 1-Lampe	56
2.	Quecksilber-Hochdrucklampe	57
3.	Xenon-Hochdrucklampe	57
4.	HNS-Lampe	58
5.	Standardisierung	62
2.2.5.	Hauptversuche	66
1.	Versuchsdurchführung	66
2.	Auswertung	73
2.1.	physikalisch	73
2.2.	visuell	75
2.3.	<u>Diskussion</u>	81
2.3.1.	Untersuchungsmethode	81
1.	Versuchsaufbau	81
2.	Bestrahlungsquellen	83
3.	Licht- und Strahlungsmessungen	86
4.	Farbbestimmung	87
5.	Proben	88
2.3.2.	Ergebnisse	90
2.3.3.	Vergleich physikalische - visuelle Ergebnisse	92
2.4.	<u>Klinischer Hinweis</u>	95

	Seite
3. ZUSAMMENFASSUNG	96
4. SCHRIFTTUM	98
5. Tabellenanhang	107

1. EINLEITUNG

Immer wieder werden mit Kaltpolymerisat ausgeführte Prothesenreparaturen oder -erweiterungen beobachtet, die nach einiger Zeit gelb verfärbt sind. Ähnlich verhält es sich bei Füllungen aus kaltpolymerisierendem Kunststoff. Gerade aus ästhetischen Gründen wird im Frontzahnbereich die Indikation zur Kunststofffüllung gestellt. So positiv meist der ästhetische Erfolg einer Füllung aus Kunststoff anfangs ist, so enttäuschend ist es, wenn die Füllung nach einiger Zeit gelb verfärbt ist. Selbst wenn die Füllung mechanisch noch einwandfrei ist, wird der Patient unzufrieden sein, wenn die Füllung vergilbt ist.

Ursachen für die Verfärbung gibt es viele. Es sind variable Faktoren, von denen jeder einzelne schwer zu erfassen ist. Als Beispiel sei nur der Einfluß von Nahrungs- und Genußmitteln sowie Medikamenten genannt.

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sollen jedoch nicht exogene (Ein- oder Anlagerung fremder Farbpartikel), sondern endogene Verfärbungen sein (chemische Reaktionen im Polymerisat), die, stellvertretend für alle anderen Faktoren, durch UV-Strahlung provo-

ziert werden. Es sollen verschiedene UV-Quellen erprobt werden, um diejenige herauszufinden, welche sich am besten zur Farbbeständigkeitsprüfung dentaler Kunststoffe eignet.

2. HAUPTTEIL

2.1. Schrifttumsübersicht

2.1.1. Chemischer Aufbau zahnärztlicher Kunststoffe

Den Durchbruch der Kunststoffe in der Zahnheilkunde brachten die Methylmethacrylate als Heißpolymerisat. Bei dem gebräuchlichen Pulver-Flüssigkeit-Verfahren (Paladon) enthält das Acrylatpulver zur Beschleunigung der Polymerisation einen Akzelerator, die Monomerflüssigkeit einen Stabilisator, um Autopolymerisation zu verhindern.

Der zweite Schritt war die Entwicklung von Kaltpolymerisaten. Anstelle von Druck und Temperatur sorgt ein Aktivator, z. B. ein tertiäres Amin, für den Ablauf der Polymerisation innerhalb weniger Minuten. In dem Bestreben, Kaltpolymerisate zu geeigneten Werkstoffen für Kavitätenfüllungen zu entwickeln, setzte man anorganische Füllstoffe hinzu. Anfangs verwendete

man nur einfache Glasfasern oder -kugeln; doch erwies sich dabei das Fehlen einer chemischen Bindung zwischen anorganischem Füllstoff und organischer Matrix als Ursache für nicht entscheidend verbesserte physikalische Eigenschaften dieser Materialien. Dieses Problem konnte durch die Einführung eines Haftmittlers gelöst werden: Die Füllstoffe (Al-Oxid, Quarz, Glas) werden mit siliziumorganischen Verbindungen, den Silanen (z. B. Dimethyl-dichlorsilan), vorbehandelt. Da das Silan teils organischer, teils anorganischer Natur ist, kann es sich einerseits mit dem Füllstoff und andererseits mit der organischen Matrix verbinden. Diese zusammengesetzten Füllungswerkstoffe heißen Composites (2, 8, 58).

Die Matrix muß jedoch nicht zwangsläufig aus Methacrylat bestehen; BOWEN (5) verwendet statt Methacrylatmonomer ein Reaktionsprodukt aus Bisphenol A und Glycidilmethylmethacrylat, das BIS-GMA (58).

Um auch die Haftung der Füllung an der Zahnhartsubstanz zu verbessern, wird in letzter Zeit die Ätztechnik angewendet: Nachdem der Zahnschmelz durch Phosphorsäure geätzt und damit angeraut wurde, wird ein Lack aufgetragen und polymerisiert, der sich mit

dem Füllungswerkstoff verbindet. Ob es damit gelungen ist, eine echte Verbindung zwischen Zahn und Füllung herzustellen, muß zunächst bezweifelt werden, da die Haftung nach einiger Zeit nachzulassen scheint.

2.1.2. Verfärbung von Kunststoffen

Das Problem der Farbbeständigkeit von Methylmethacrylaten tauchte erst auf, als DEPPE, SCHNEBEL und SLACK Anfang der vierziger Jahre die Kaltpolymerisate entwickelten (18). Offenbar sind die im Kaltpolymerisat gegenüber dem Heißpolymerisat zusätzlich enthaltenen Katalysatoren (Akzeleratoren) für die relativ schlechte Farbbeständigkeit verantwortlich. Am gebräuchlichsten sind tertiäre Amine, die als Aminoxid stark aktivierend wirken. Auch Sulfinsäuren sowie Lauryl-Mercaptan können die Kaltpolymerisation ermöglichen (6, 44).

Da Amine auch Ausgangsstoffe zur Farbenherstellung sind, liegt die Vermutung nahe, daß sie Ursache der Verfärbung sind (50). Nach CHRISTIE (zitiert nach 60) beruht die Farbstoffbildung auf einer Oxidation desamins an einer bestimmten Stelle des Benzolringes. Wenn diese Stelle durch einen Substituenten besetzt ist, würde die Verfärbung verhindert werden. KREUDEN-

STEIN (60) meint, daß das Amin mit dem Peroxid reagiere und es im Trockenem keine Verfärbungen gäbe. Ebenso gäbe es bei Verwendung von Sulfinsäuren anstelle von Amin keine Verfärbung. Dem wird von CASTAGNOLA (6) und anderen Autoren widersprochen. Nach seinen Untersuchungen zeigt auch Sevriton (ein Sulfinsäure enthaltender Kunststoff) nach 20stündiger Bestrahlung mit einer Quarzlampe (Abstand 250 mm) geringe gelbliche Verfärbungen. Außerdem stellt CASTAGNOLA (7) fest, daß sich trockene Kunststoffproben auch bei völliger Dunkelheit bei 60° C verfärben. Stärkste Verfärbungen treten auf, wenn die Probe bei 130° C unter Druck gekocht wird.

Einigkeit besteht bei allen Autoren, daß ultraviolette Strahlung die zur Verfärbung führenden chemischen Reaktionen beschleunigt oder erst hervorruft. Die modernen Kaltpolymerisate enthalten daher einen "UV-Stabilisator oder -Absorber", der, wie der Name sagt, das lichtempfindliche Katalysatorsystem stabilisiert und so den Kunststoff vor Veränderungen schützen soll. Diese Stabilisatoren sind in ihrer Wirksamkeit offensichtlich unterschiedlich, wie die unterschiedlichen Verfärbungen der Kunststoffe beweisen.

2.1.3. Klinische Untersuchungen der Farbbeständigkeit

Viele Autoren, unter anderen FISCHER (24), HASEL (27), HINTZE (28), MARTIN (43), McLEAN (44), RYGE, SNYDER und MORGAN (56), SCHULZ-LANGENDORF (59) und KREUDENSTEIN (60), haben die mangelhafte Farbbeständigkeit von Kunststoffüllungen klinisch festgestellt. Die Beurteilung des Verfärbungsgrades erfolgt dabei ausschließlich visuell. Bislang gab es keine Meßgeräte zur physikalischen Bestimmung der Farbveränderung derart kleiner Flächen, wie sie Kunststoffüllungen darstellen. Es gibt auch keine allgemein gültigen Richtlinien zur visuellen Bestimmung des Verfärbungsgrades. Das ist auch kaum verwunderlich, da die visuelle Bewertung recht schwierig durchzuführen und immer subjektiv ist. MARTIN (43) und SCHULZ-LANGENDORF (59) konnten feststellen, daß sich besonders die Füllungen verfärben, die viel dem Licht ausgesetzt sind. 1953 vertreten diese Autoren, wie schon ein Jahr früher KREUDENSTEIN (60), die Ansicht, daß die Verfärbungen durch ultraviolette Strahlung hervorgerufen werden. RINK (54) und KREUDENSTEIN (60) machen insbesondere den Akzelerator, wenn er ein Amin ist, als UV-empfindlichen Bestandteil verantwortlich. Während KREUDENSTEIN (60) meint, daß Kunststoffe mit Toluolsulfinsäure als Akzelerator sich nicht verfär-

ben und auch SCHULZ-LANGENDORF (59) den Sulfinsäure enthaltenden Kunststoff Sevriton als besonders farbbeständig beschreibt, stellt CASTAGNOLA (6) fest, daß sich Sevriton ebenfalls, wenn auch geringer, verfärbt.

2.1.4. Farbmessung

1. Visuelle Beurteilung

Die älteste und einfachste Methode der Farbbestimmung ist die visuelle Beurteilung.

Die FDI-Spezifikation Nr. 3 (21) fordert den visuellen Farbvergleich, nennt aber keine näheren Bedingungen. So stellen denn auch die meisten Autoren nur eben fest, die entsprechende Probe habe sich nicht, kaum sichtbar, schwach oder stärker verfärbt (7, 11, 19, 22, 27, 38, 40, 41, 52, 55).

Eine Erleichterung des Farbvergleichs ist möglich, wenn verfärbte und nicht verfärbte Flächen breit aneinander grenzen. ERNI (20) ermöglicht das, indem er trapezförmige Proben verwendet. PAFFENBARGER (49), KAPSIMALIS, EVEN und STERLING (37) hingegen decken die Hälfte der Probe vor der Bestrahlung mit Aluminiumfolie ab. ERNI (20) und HASEL (26) weisen auch auf die mög-

liche Beeinflussung des Farbtons durch das verwendete Licht, die Farbe der Unterlage sowie die Struktur der Probenoberfläche hin. ERNI (20) verwendet eine graue Unterlage und diffuses Nordlicht, HAISEL (26) diffuses Sonnenlicht zwischen 11.00 und 12.00 Uhr und eine dunkelgrüne Probenunterlage.

Die für die Farbbewertung verwendete Lichtart ist von großer Bedeutung: Um gelblich-rötliche Farbtöne zu unterscheiden, muß das Licht einen hohen Blauanteil haben.

Die Farbart wird entsprechend der ähnlichsten Farbtemperatur bezeichnet. Die ähnlichste Farbtemperatur T_n eines zu kennzeichnenden Strahlers ist diejenige Temperatur des Planckschen Strahlers, bei der dessen Farbart der des zu kennzeichnenden Strahlers am nächsten kommt (12). Lichtart D 55 (Tageslicht in Europa) bedeutet also Tageslicht mit der ähnlichsten Farbtemperatur $T_n = 5500$ K. Das Tageslicht in den USA entspricht der Lichtart D 75. Als Kompromiß wird daher allgemein D 65 anerkannt. Diese exakte Lichtbezeichnung wird in zahnärztlichen Veröffentlichungen aber leider nicht verwendet.

So praxisnah und einfach visuelle Beurteilungen sind,

sie ermöglichen, selbst wenn die Ergebnisse farbfotografisch festgehalten werden (BOHREN, 3), keine vergleichbaren und reproduzierbaren Ergebnisse. Der einfachste Schritt in Richtung einer physikalischen Farbbewertung ist die Verwendung von Farbtafeln nach OSTWALD durch MARTIN (43). Diese Bewertung der Farben bezeichnet man als Farbmessung nach dem Gleichheitsverfahren.

Der Deutsche Normenausschuß definiert in dem Entwurf DIN 6173 die Farbabmusterung (14). Farbabmusterung ist die visuelle Beurteilung der Farbgleichheit oder Farbverschiedenheit von Muster und Probe bei Beleuchtung mit der gleichen Lichtart. Lichteinfallswinkel, Beobachtungsrichtung, Öffnungswinkel der Beleuchtung, Lage, Größe und Abstand der Proben werden ebenso festgelegt wie Seheigenschaften des Beobachters und der Adaptionzustand seines Auges. Außerdem werden noch Gesichtsfeldgröße und Leuchtdichteniveau vorgeschrieben.

Diese umfangreichen Normungen der visuellen Farbbeurteilung können die Ergebnisse sicherlich optimieren. Eine völlig objektive Farbmessung ist aber nur mit einem physikalischen Verfahren möglich.

2. Physikalische Farbmeßmethoden

Zur physikalischen Farbmessung werden 2 Verfahren angewendet:

- a) das Dreibereichsverfahren
- b) das Spektralverfahren.

Entsprechend dem Dreibereichsverfahren arbeiten das von CAUL (9) und PETERSON (51) benutzte "Hunter Multipurpose Reflectometer" sowie das von ERNI (20) benutzte "Photovolt Reflectometer". Diese Geräte dienen zur Messung der diffusen Reflexion. Dabei wird die Probe unter einer bestimmten Richtung beleuchtet. Das diffus reflektierte Licht wird durch drei verschiedene Filter mittels Photoelement gemessen.

Wird die Probe vor und nach der Verfärbung gemessen, dann kann aus den Meßwertdifferenzen der Farbabstand errechnet werden. CAUL (9) errechnet nach den früher gebräuchlichen Formeln von Judd-Hunter den Farbabstand in NBS-Einheiten (NBS = National Bureau of Standards). Ein geübter Beobachter kann den Farbunterschied von einer NBS-Einheit noch gerade eben feststellen. Die heute gebräuchliche Mac-Adam-Ein-

heit $\Delta E_{\text{FMC II}}$ entspricht einer halben NBS-Einheit.

Für eine exakte Farbbestimmung müssen die verwendeten Filter-Empfänger-Kombinationen den in der Norm DIN 5033 (13) festgelegten Spektralwertfunktionen entsprechen, die aus den von GUILD und WRIGHT ermittelten Augenempfindlichkeitskurven farbnormalsichtiger Menschen abgeleitet wurden. Dann können die Farbmeßzahlen X, Y, Z, die in der deutschen Norm DIN 5033 (13) Normfarbwerte genannt werden, bestimmt werden. Durch die Normfarbwerte sind Farbart und Helligkeit eindeutig bestimmt. Aus diesen Werten können dann die Normfarbwertanteile x und y errechnet werden, die das Aufsuchen der entsprechenden Farbe in der Normfarbtafel ermöglichen. Die oben genannten Geräte sind den Augenempfindlichkeitskurven jedoch nicht gut angepaßt und ermöglichen keine genauen Messungen. Neuerdings sind jedoch Geräte auf dem Markt, die wesentlich genauer angepaßt sind (GEUTLER, 25).

Das Spektralverfahren

HINTZE (28) benutzt das zur Zeit genaueste Farbmeßverfahren: das Spektralverfahren. Spektralphotometrisch wird die spektrale Remissionsfunktion ermittelt und mit den Normspektralwertfunktionen vereinigt

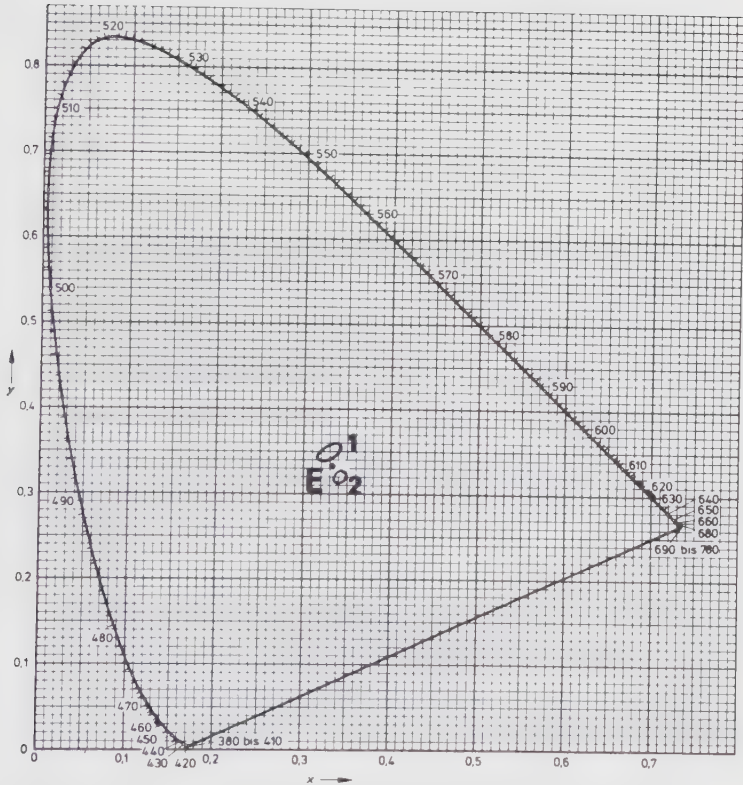


Abb. 1 Normfarbtafel aus DIN 5033 (13)

E = Unbuntpunkt

Die Farben der Materialproben
liegen in den umrandeten Be-
reichen 1 und 2.

(DIN 5033, Blatt 4 (13)). HINTZE (28) benutzt das Zweistrahlphotometer DMC 25 der Firma Zeiss bei der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin. Aus den Normfarbwerten, die vor und nach der Verfärbung ermittelt werden, kann der Farbabstand ΔE_{AN} berechnet werden (RICHTER und WEISE 53).

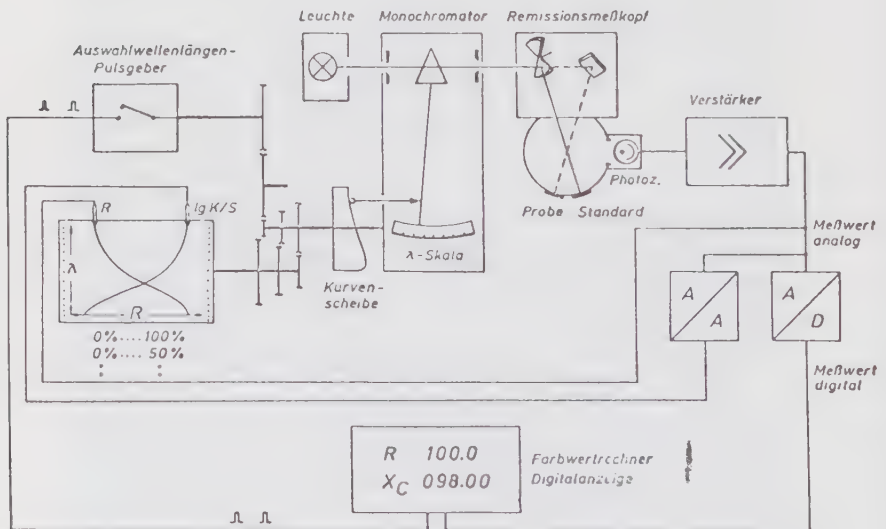


Abb. 2 Funktionsschema des Zeiss Zweistrahl-
photometers DMC 25

2.1.5. Bestrahlungsquellen

1953 werden von CASTAGNOLA und MARX (6) verschiedene Bestrahlungsquellen erprobt: Glühlampenlicht, Sonnenlicht und künstliches UV-Licht einer Quarzlampe (wahrscheinlich Quecksilberdampf-Hochdrucklampe). Im Gegensatz zu den anderen Bestrahlungsquellen ruft die Glühlampe dabei keine Verfärbungen hervor. Wie zu erwarten war, konnte auch festgestellt werden, daß die Verfärbung mit der Expositionszeit zunimmt.

Quecksilber-Hochdrucklampen werden in der Folge häufig als Bestrahlungsquellen benutzt. FISCHER und HERTING (22, 27) verwenden Quecksilberdampflampen, deren Glaskolben keine Wellenlängen kürzer als 300 nm durchlassen.

CASTAGNOLA (6, 7), MARTIN (43) und REHBURG (52) dagegen benutzen Lampen mit Quarzkolben, die auch sehr kurzwellige Strahlung auf die Probe treffen lassen.

Eine andere Quecksilberlampe ist die Mischlichtlampe S 1 von General Electric. Ihr Wolframwendel erzeugt auch viel Infrarot. Diese Lampe ist in der ADA-Spezifikation Nr. 12 (1) und der FDI-Spezifikation Nr. 3 (21) vorgeschrieben. Sie wird von CASTAGNOLA

und ARX (7), HINTZE (28), KAPSIMALIS, EVEN und STERLING (37), PETERSON, PHILLIP und SWARTZ (51) und anderen benutzt. Da diese Lampe von jeher in Europa schwer zu beschaffen war und seit einiger Zeit nicht mehr hergestellt wird, werden ähnliche Lampen gesucht. BOHREN (3, 4) und ERNI (20) halten die Philips Biosol-Lampe für besonders geeignet, JAHNKE (36) und SCHMIDT (57) die Osram Ultra-Vitalux-Lampe. MARX (42) geht in der Auswahl der Bestrahlungsquellen einen anderen Weg. Wie schon HIRT, SCHMITT, SEARLE und SULLIVAN (29), die die Spektren der S 1-Lampe, einer 1 000 W Xenon-Bogenlampe, einer 1 000 W Hg-Hochdrucklampe und der AH 3 RS Hg-Lampe 85 W untersuchten, kommt auch er zu dem Ergebnis, daß die Xenon-Bogenlampe das sonnenähnlichste Spektrum besitzt. Der gegenüber dem Sonnenlicht geringfügig höhere UV-Anteil kann durch Filter korrigiert werden. Da die Xenonlampe auch eine gute Konstanz aufweist, setzt sich MARX (42) für die Übernahme der Xenonlampe in die Spezifikation ein.

HINTZE (28) fordert eine Präzisionslampe mit homogenem Strahlstärkeverteilungskörper und vergleicht die S 1-Lampe, die Osram Ultra-Vitalux-Lampe, die Philips MLU Biosol-Lampe und das Xenon-Testgerät 150 miteinander. Da die S 1-Lampe einen sehr hohen Infrarotanteil

hat und der Strahlstärkeverteilungskörper der Osram- und Philips-Lampe inhomogen ist, wird der Xenonlampe der Vorzug gegeben.

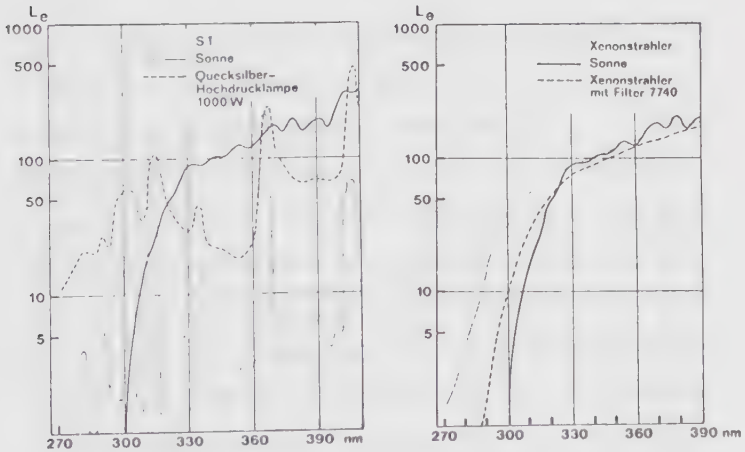


Abb. 3 und 4 Spektrale Verteilung des Sonnenlichts und verschiedener Lampen im UV-Bereich.
 L_e = spektrale Strahldichte (aus 29).

2.1.6. Normen und Normentwürfe

Die ADA-Spezifikation Nr. 12 bzw. FDI-Spezifikation Nr. 3 bzw. ISO/R 1567 (1, 21, 32) befassen sich mit der Prüfung von Prothesenkunststoffen. Neben anderen physikalischen Untersuchungen ist die Prüfung auf Farbbeständigkeit vorgesehen.

Die Kunststoffscheiben (Durchmesser 50 mm, Stärke 0,5 mm) werden der Bestrahlung einer 400 W S 1-Lampe ausgesetzt, die eine Kombination von Wolframwendel und Quecksilberbogen, in Corex-D Glas eingeschlossen, darstellt. Sie soll mindestens 50 Stunden, aber nicht mehr als 400 Stunden gebrannt haben. Der Glaskolben läßt kaum Strahlung unter 280 nm passieren. Die Proben werden auf einer drehbaren Aluminiumplatte (Durchmesser 380 mm) in einem Vertikalabstand von 5 mm über der Platte und einem Abstand vom Zentrum von 127 mm (Plattenmitte - Probenmitte) mit Schrauben fixiert. Die Lampe wird über der Aluminiumplatte zentriert, so daß der Abstand Lampe - Probe 178 mm beträgt. Die Rotation des Tellers soll 33 Umdrehungen/min betragen, die Expositionszeit 24 Stunden. Danach soll die exponierte mit einer nichtexponierten Probe bei Tageslicht mit bloßem Auge verglichen

werden. Eine mit "Schwierigkeiten wahrnehmbare leichte Farbänderung" ist zulässig.

In dem von der ISO (International Organization for Standardization) und dem Deutschen Institut für Normung 1968 herausgegebenen Entwurf über die Prüfung der Lichtechtheit von Kunststoffen wird Xenonlicht empfohlen (31). Es hat als dem Sonnenlicht ähnliches Kunstlicht den Vorteil, unabhängig von äußeren Faktoren, wie Ort und Tageszeit, zu sein. Der beim Xenonlicht etwas stärkere UV-Anteil (380 - 315 nm) kann durch Filter so abgeschwächt werden, daß er dem Sonnenlicht entspricht. Die Farbtemperatur der Lichtquelle liegt je nach Filterung bei 5000 - 7000 K, wobei die Beleuchtungsstärke auf der Probe nicht mehr als 200 000 lx betragen soll. Die Beleuchtungsstärke ist die mit der Augenempfindlichkeitskurve bewertete Bestrahlungsstärke, welche als Flächendichte des eingestrahlten Strahlungsflusses definiert ist (DIN 5031, Blatt 1, 3 (12)).

1971 wird von der Internationalen Beleuchtungskommission eine Empfehlung für die Gesamtbestrahlungsstärke und spektrale Verteilung künstlicher Sonnenstrahlung für Prüfzwecke herausgegeben. Darin wird nach einge-

hender Prüfung die Xenonlampe als bester künstlicher Strahler bezeichnet (30).

1972 wird vom Schwedischen Sekretariat der Arbeitsgruppe 2 des ISO/TC 106 (34) (TC 106 = Technical Committee 106, Dentistry) ein Vorschlag zur Prüfung von Kunststoffzähnen herausgegeben. In Abwandlung der FDI-Spezifikation Nr. 3 (21) wird als Bestrahlungsquelle eine Mischlichtlampe mit Innenreflektor vorgeschlagen, die 275 - 300 W haben soll. In einem Abstand von 500 mm soll die UV-A Strahlung $19 \pm 3 \text{ W/m}^2$, UV-B = $6,5 \pm 3 \text{ W/m}^2$ und UV-C $\leq 0,1 \text{ W/m}^2$ betragen (UV-A = 400 - 320 nm, UV-B = 320 - 280 nm, UV-C = 280 - 200 nm).

Für die Wellenlängen 313, 302, 297, 289 und 280 nm werden genaue Angaben gemacht. Die Proben sollen sich auf einer Platte 75 mm von der Plattenmitte bis zur Probenmitte und zwischen 350 und 400 mm vom unteren Rand der Lampe befinden. Die Platte soll mit 33 Umdrehungen/min bewegt werden. Die Proben sollen 24 Stunden lang im Trockenen bestrahlt werden. Die Farbbewertung soll bei der Lichtart D 55 erfolgen, der Öffnungswinkel der Leuchte soll nicht weniger als 35° betragen.

Die British Standard Institution veröffentlicht 1973 einen Vorschlag zur Prüfung zahnärztlicher Füllungskunststoffe (33). Im Gegensatz zur FDI-Spezifikation Nr. 3 sollen die Proben nur einen Durchmesser von 15 mm haben. Die Angaben für Bestrahlungsquelle und Bestrahlung entsprechen dem eben genannten schwedischen Entwurf, doch soll die Bestrahlung unter Wasser (5 mm) bei 40° stattfinden. Die Farbbewertung soll visuell mit einer während der Bestrahlung abgedeckten Probenhälfte bei der Lichtart D 75 erfolgen.

1973 übernimmt der DIN-Entwurf 13 914 (15) die Versuchsbedingungen aus dem schwedischen Vorschlag und verändert sie nur so, daß auch die Philips MLU-Lampe Verwendung finden kann, d. h. die Angaben für die Begrenzung der UV-Strahlung werden geändert.

1973 gibt das Commonwealth Bureau of Dental Standards in Australien einen neuen Entwurf zur Prüfung von Prothesenkunststoffen heraus (10); die Versuchsbedingungen gleichen dem schwedischen Vorschlag zur Prüfung von Kunststoffzähnen (34). Der Farbvergleich wird nicht beschrieben.

Ebenfalls 1973 veröffentlicht die WG 1 des ISO/TC 106

(WG 1 = Working Group 1, Fillingmaterials) in dem Dokument 110 (35) die Zusammenfassung einer Testreihe mit Kunststofffüllungsmaterialien. Vor der Bestrahlung werden die Proben 24 Stunden lang in Wasser von 37° C aufbewahrt. Nach der Farbbestimmung mit dem Hunter-Color und Color-Difference Meter (siehe Dreibereichsverfahren Abschnitt 2.1.4.2.) werden die Proben entsprechend der ADA-Spezifikation Nr. 13 (1) bestrahlt. Die Materialien Bonfil, Merdon und Sevriton zeigen visuell wie physikalisch die geringsten Verfärbungen.

2.2. Eigene Untersuchungen

2.2.1. Verwendete Kunststoffe

1. Auswahl der Kunststoffe

Die vorliegende Untersuchung verfolgt zwei Ziele:

Einerseits soll eine geeignete Methode zur Farbbeständigkeitsprüfung zahnärztlicher Kunststoffe erprobt werden, andererseits sollen einige neu auf dem Markt erschienene Kunststoffe geprüft werden.

Eine Prüfmethode, die klinisch farbbeständige Kunststoffe verfärbt, wäre ebenso ungeeignet wie eine Methode, die ein unbeständiges Material nicht zu verfärben vermag.

Als besonders unbeständiges Testmaterial verwendet schon HINTZE (28) ein Probematerial (Kulzer SH), das keinen UV-Stabilisator enthält und nicht für die klinische Verwendung vorgesehen ist. Es handelt sich dabei um ein rosafarbenes Kaltpolymerisat, das 0,375 % Benzolperoxid und 3 % Dimethyl-Paratoluidin enthält. Gewöhnliches Kaltpolymerisat enthält weniger Benzolperoxid und Dimethyl-Paratoluidin, stattdessen aber ca. 1 % UV-Absorber bzw. Stabilisator.

Klinisch und experimentell haben sich zwei Materialien als besonders farbstabil erwiesen: Paladon, weil es ein Heißpolymerisat ist und keinen Akzelerator benötigt, sowie Sevriton, das als Akzelerator eine Sulfinsäure enthält.

Als neue Kunststoffe sollen besonders die Composites untersucht werden, deren Akzeleratorsysteme sich von den bisher gebräuchlichen etwas unterscheiden (BOWEN, 5).

Es werden folgende Kunststoffe ausgewählt (Ordnung der Kunststoffe nach (61)):

Nr.	Gruppe	Hersteller	Fabrikat	Abkürzung
1	Kalt-polymerisat	Kulzer	Referenz-material	SH
2	Heiß-polymerisat	Kulzer	Paladon	Pn
3	Kalt-polymerisat	Kulzer	Palapress	Pp
4	Kalt-polymerisat	Kulzer	Paladur	Pd
5	Kalt-polymerisat	Kulzer	Palaferm	Pf
6	Kalt-polymerisat	Kulzer	Palavit 55	Pv
7	Kalt-polymerisat	De Trey	Sevriton	S
8	PMMA-Composite	Kulzer	Palkav	Pk
9	PMMA-Composite	Dental Fillings	TD 71	TD
10	Composite (Bowen)	Johnson	Adaptic	A
11	Composite (Bowen)	3 M	Concise	Cc
12	Composite (Bowen)	De Trey	Cosmic	Cm
13	Composite (Bowen)	Kulzer	Estic	E

Tab. 1 Untersuchte Kunststoffe: 1 Referenzmaterial, 1 Heißpolymerisat, 1 Gießkunststoff, 1 Reparaturkunststoff, 1 Kronen- und Brückenmaterial, 2 herkömmliche Füllungskunststoffe, 2 PMMA-Composites und 4 Bis-GMA-Composites.

2. Probenherstellung

Die Prüfkörper werden entsprechend der FDI-Spezifikation Nr. 3 (21) und unter Berücksichtigung der Gebrauchsanweisung hergestellt. Alle Proben werden in einer Stahlform unter Gegendruck einer Glasplatte polymerisiert, so daß ein scheibenförmiger Prüfkörper von 50 mm Durchmesser und 0,5 mm Stärke entsteht. Die Materialmengen werden mit einer Laborwaage (Satorius-Selekta) mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01$ g gewogen. Misch- und Preßzeit werden mit einer Stoppuhr kontrolliert. Die Pressung mit einem Druck von 10 kp erfolgt mit Hilfe eines Stahlkörpers von 10 kg Masse, der auf Form und Glasplatte gelegt wird.

Bei den Composites muß doppelt so lange gemischt werden wie in den Herstelleranweisungen angegeben, da es sich um erheblich größere Mengen als für eine Füllung erforderlich handelt und nur so eine ausreichende Durchmischung gewährleistet ist.

Einige Materialien erfordern aufgrund ihrer zähen Konsistenz einen höheren Preßdruck, um eine Probenstärke von 0,5 mm zu erzielen: Mit einer Öldruckpresse wird das Material mit 100 kp in die Form gepreßt. Da dieser Druck auf eine Fläche von 50 mm Durchmesser wirkt, erscheint die Höhe des Druckes gerechtfertigt.

Mischungsverhältnis, Mengen, Mischzeit, Drucke und Polymerisationszeit gehen aus der Tabelle 2 hervor.

Es wird bei der Probenherstellung versucht, mit einem einzigen Isoliermaterial zu arbeiten, um konstante Versuchsbedingungen einzuhalten. Es zeigt sich jedoch, daß die zur Isolierung von ungefüllten Methacrylaten gut geeignete Zinnfolie (0,03 mm) für Composites ungeeignet ist, da die anorganischen Füller offenbar beim Einpressen in die Form an der Zinnfolie reiben, so daß alle auf diese Weise hergestellten Proben einen grauen, metallischen Schimmer zeigen. So wird zur Isolierung der Composites Polyäthylenfolie (Kisol) verwendet, die ihrerseits aber zur Isolierung der Methacrylaten ungeeignet ist, da sie sich bei der Polymerisation, möglicherweise angelöst durch Monomer, in Falten legt und dadurch eine ebene Probenoberfläche verhindert. Eine Sonderstellung nimmt auch das Heißpolymerisat Paladon ein: Hier wird, entsprechend der Prothesenherstellung, die Form in eine Küvette eingebettet und der Gipskonter mit De Trey-Isolierflüssigkeit für Stellonprothesen behandelt.

Nr.	Fabrikat	Mischverhältnis	Menge g : g	Mischzeit	Preßdruck kp	Preßzeit	Isolierung
1	SH	1,7 : 1	1,7 : 1	30 sec	100	10 min	Kisol-Folie
2	Paladon	2,5 : 1	25 : 10	2 min			
	Heißpolymerisation			10 min quellen	100	10 min	De Trey-Isolierflüssigkeit
3	Palapress	1,43 : 1	1,5 : 1,05	2 min	100	15 min	Kisol-Folie
4	Paladur	1,7 : 1	1,7 : 1	20 sec	10	10 min	Zinn-Folie
5	Palafarm	1,43 : 1	1,43 : 1	30 sec	10	20 min	Zinn-Folie
6	Palavit 55	1,67 : 1	1,67 : 1	1 min	10	15 min	Zinn-Folie
7	Sevriton	1,5 : 1	1,5 : 1	30 sec	10	5 min	Zinn-Folie
8	Palakav	3 : 1	2,1 : 0,7 Kat. 0,0235	40 sec	100	10 sec	Kisol-Folie
9	TD 71	Polymer Monomer Katalysator	6 Kapseln = 1,536 g 36 Tropfen = 0,576 g 6 Kapseln = 0,828 g	10 sec	10	10 min	Kisol-Folie
10	Adaptic	0,8 : 1	1 : 1,25	40 sec	100	10 sec	Kisol-Folie
11	Concise	1 : 1	1,2 : 1,2	40 sec	100	10 sec	Kisol-Folie
12	Cosmic	1 : 1	1 : 1	40 sec	100	10 sec	Kisol-Folie
13	Estic	30 : 1	2,4 : 0,08	40 sec	100	10 sec	Kisol-Folie

Tab. 2 Mischungsverhältnisse und absolute Mengen (1. Wert = Pulver bzw. Basispaste, 2. Wert = Flüssigkeit bzw. Katalysatorpaste), Mischzeiten, Preßzeiten, Preßbelastungen, Preßzeiten und Art der Isolierung für die Probenherstellung.

2.2.2. Auswahl der Bestrahlungsquellen

Ausgangspunkt und gewissermaßen Bezugsbasis für die Bestrahlungsquellen ist die in der FDI-Spezifikation Nr. 3 (21) genannte S 1-Lampe von General Electric. Mit dieser Lampe soll auch in den folgenden Versuchen gearbeitet werden.

Es soll aber durch die vorliegenden Untersuchungen nicht nur eine "Ersatzlampe" für die nicht mehr hergestellte S 1-Lampe gefunden werden, es sollen auch neuere physikalische und optische Erkenntnisse berücksichtigt werden.

So werden in Zusammenarbeit mit dem Lichttechnischen Institut der TU Berlin Forderungen an die Bestrahlungsquellen aufgestellt und entsprechende Lampen ausgewählt.

1. Die Bestrahlungsquellen sollen einen hohen UV-Anteil haben.
2. Der Strahlstärkeverteilungskörper soll homogen sein.
3. Die Lampe soll konstant sein während einer angemessenen Lebensdauer und unter verschiedenen Exemplaren.
4. Die Lampe soll überall erhältlich und wirtschaftlich sein.

Für die Bestrahlungsversuche werden folgende Lampen beschafft:

Lampentyp	Hersteller	Bezeichnung	Leistungs- aufnahme
Quecksilber- Mischlicht	General Electric	S 1	400 W
Quecksilber- Hochdruck	Hanau	Fluotest- Forte	180 W
Xenon- Hochdruck	Osram	XBO	162 W
Quecksilber- Niederdruck	Osram	HNS	15 W

Tab. 3 Verwendete Bestrahlungslampen

Quecksilber-Mischlichtlampe

Die in der FDI-Spezifikation Nr. 3 (21) vorgesehene S 1-Sunlamp ist eine Quecksilber-Mischlichtlampe von 400 W. Ihr Spektrum besteht aus dem Kontinuum des Wolframwendels, überlagert von den Quecksilberlinien 364 nm=max. Es enthält also viel Infrarot und kein sehr kurzwelliges Ultraviolett. Sie ist mit einer hitzebeständigen Porzellanfassung in einem Aluminiumreflektor von 390 mm Durchmesser montiert und wird über ein Vor-schaltgerät (S - 400) gespeist. Da das Gerät aus den USA

stammt und 110 V benötigt, ist zur Stromversorgung ein 220/110 V Transformator erforderlich.

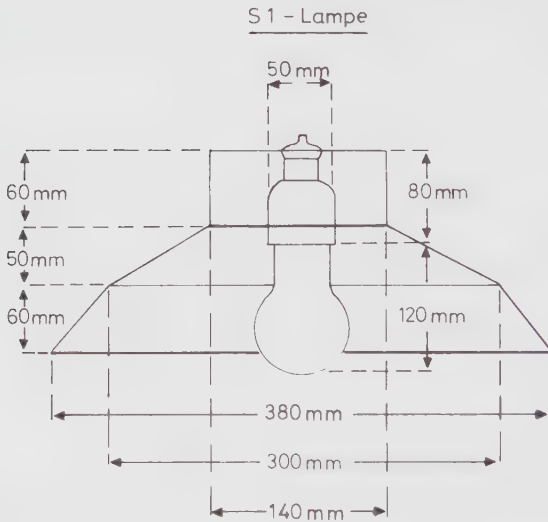


Abb. 5 Die S 1-Lampe im Reflektor

Quecksilber-Hochdrucklampe

Der Brenner des Hanau Fluotest Forte-Gerätes, Typ 5261, ist eine Quecksilber-Hochdrucklampe von 160 W mit einem Quarzglaskolben. Ihr Strahlungsmaximum liegt bei 365 nm.

Beim Fluotest Forte-Gerät befindet sich der Brenner in einem relativ kleinen Reflektor von 100 mm x 180 mm Größe hinter einem Filter aus Spezialglas, das bevorzugt Strahlen aus dem UV-A Bereich passieren läßt.

Für den Hauptversuch soll jedoch der Reflektor der S 1-Lampe verwendet werden: Der Brenner wird im Reflektor mit 2 Winkeln liegend mittig 88 mm von der Austrittsöffnung gehalten.

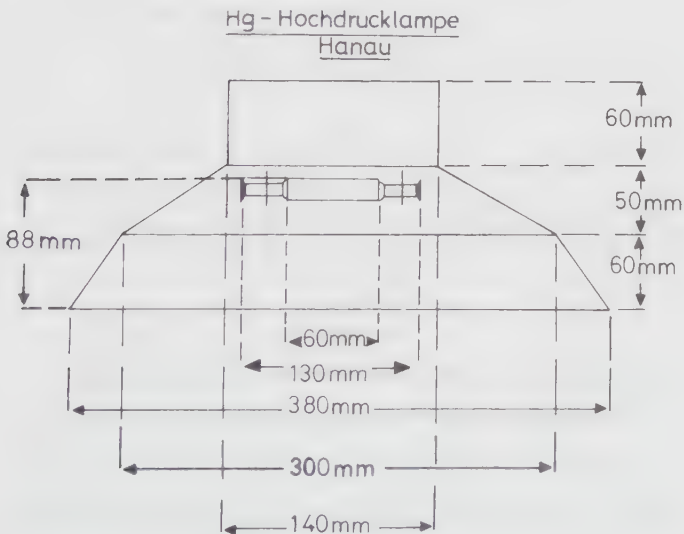


Abb. 6 Quecksilber-Hochdrucklampe (Hanau)
im Reflektor der S 1-Lampe

Xenon-Hochdrucklampe

Die Xenon-Hochdrucklampe ist eine Entladungslampe. Sie hat ein kontinuierliches Spektrum, das sich vom mittelwelligen UV- bis zum kurzwelligen Infrarotbereich erstreckt. Im sichtbaren Bereich besteht eine spektrale Zusammensetzung, die dem aus direktem Sonnenlicht und Himmelslicht gemischten Tageslicht sehr nahe kommt. Die spektrale Strahlungsverteilung bleibt während der gesamten Lebensdauer praktisch gleich und ist unabhängig von Spannungsschwankungen des elektrischen Netzes sowie der Höhe des Lampenstromes.

In den Versuchen findet der Brenner XBO 162, das Siemens Vorschaltgerät VX 201 und das Zündgerät ZX 101 Verwendung. Der Brenner XBO 162 ist nicht mehr erhältlich, stattdessen gibt es XBO 150.

Im Betrieb muß der Brenner senkrecht stehen, Anode (große Elektrode) oben. Bei geneigter Brennlage führt die der Schwerkraft entgegengesetzte konvektive Gasströmung zur Auslenkung des Bogens aus der Elektrodenachse sowie zur ungleichmäßigen Erwärmung und Schwärzung im Entladungsgefäß (Osram Liste XBO, 48).

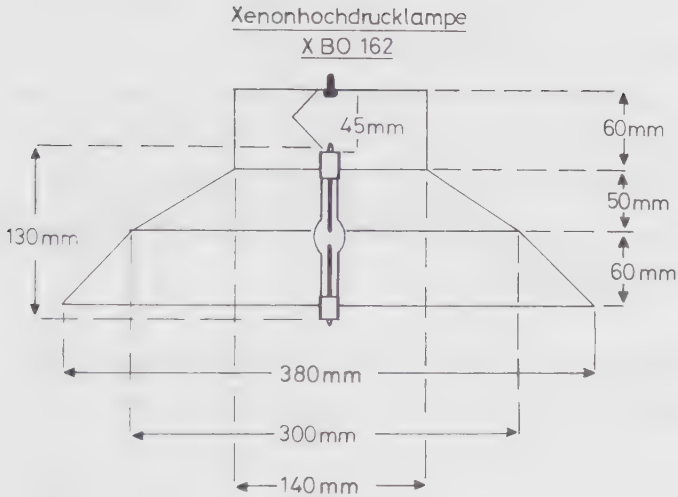
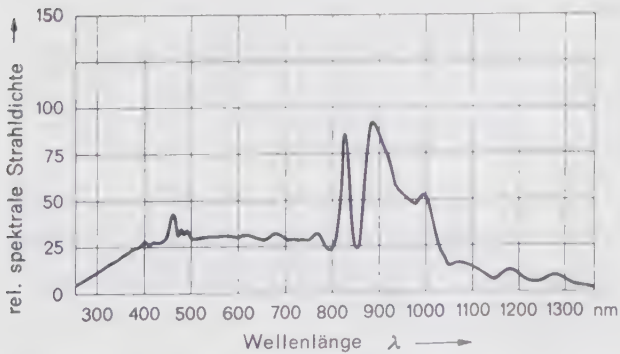


Abb. 7 Xenon-Hochdrucklampe im Reflektor
der S 1-Lampe



**Relative spektrale Strahldichteverteilung
der XBO Lampen**

Abb. 7 a

In Vorversuchen wird der Xenonbrenner in Reflektoren von 200 mm und 500 mm Durchmesser erprobt. Im Hauptversuch findet aber nur der bisher für die S 1-Lampe benutzte Reflektor Verwendung. Die Befestigung des Brenners erfolgt mit einem U-förmigen Bügel im Zentrum des Reflektors, so daß die Kathodenspitze mittig 60 mm von der Austrittsöffnung des Reflektors entfernt liegt.

Beim Aufbau muß auf hitze- und spannungsfeste Ausführung geachtet werden (Zündspannung 32 000 V).

Quecksilber-Niederdrucklampe

Die Quecksilberdampf-Niederdrucklampe, auch Entkeimungslampe genannt, entspricht im Aufbau den bekannten Leuchtstofflampen. Im Gegensatz zu den Leuchtstofflampen besteht der Glaskolben aus einem UV-durchlässigen Spezialglas und trägt an der Innenseite keine Leuchtstoffschicht.

Es findet die Osram Lampe HNS 15 W ofr Verwendung, die ihre maximale Strahlungsleistung im UV-C Bereich bei 253,7 nm abgibt.

Im Vorversuch wird eine einzelne HNS-Lampe erprobt.

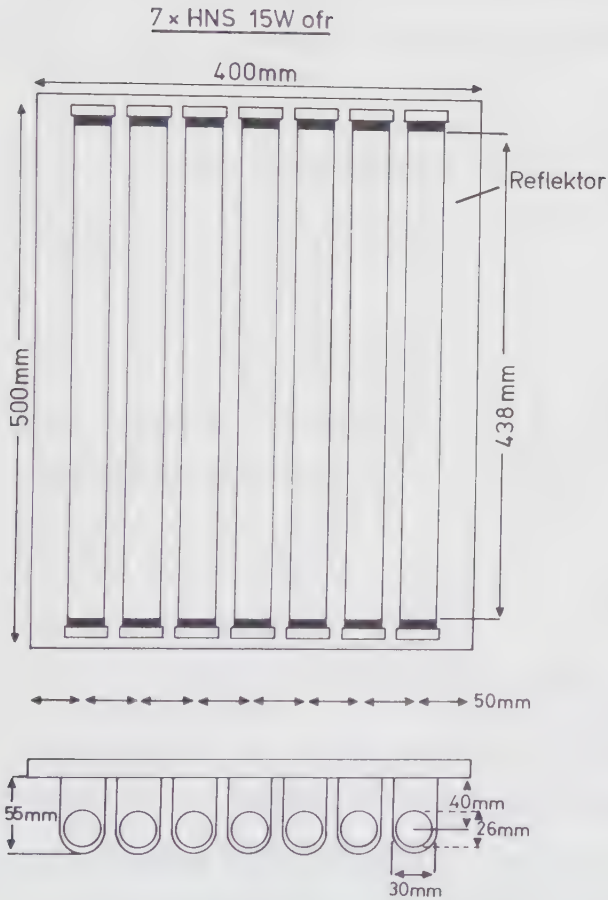


Abb. 8

Im Hauptversuch müssen zur Intensitätssteigerung 7 Lampen zusammengeschaltet werden. Dabei muß eine gleichmäßige Lichtverteilung angestrebt werden. Reflektor und Lampenträger zugleich ist eine mit Aluminiumfolie belegte Holzplatte von 400 mm x 500 mm Fläche. Auf dieser Platte sind 7 HNS-Lampen parallel angeordnet. Die Abstände zum Reflektor betragen 40 mm, die Abstände untereinander 50 mm. Jede HNS-Lampe wird mit einem eigenen Vorschaltgerät (Drossel) Praecisa L 5 und Starter St 111 betrieben.

3. Licht- und Strahlungsmessungen

Um über Beleuchtungs- und Bestrahlungsstärke sowie deren Verteilung bei den verschiedenen Apparaturen eine Aussage treffen zu können, sind entsprechende Messungen erforderlich. Es stehen hierfür folgende Meßgeräte zur Verfügung:

1. ein Digital-Luxmeter der Lichtmeßtechnik GmbH Berlin mit fein an $V(\lambda)$ angepaßtem Si-Photoelement, 15 mm Durchmesser der lichtempfindlichen Fläche mit $\cos \varphi$ Vorsatz;
2. ein Black-Ray Ultraviolet Intensity Meter J 221 (Long Wave) der Ultra-Violet Products, San Gabriel, Calif., USA. Dieses Gerät erlaubt Mes-

sungen im Bereich von 300 nm bis 400 nm. Die maximale Empfindlichkeit liegt bei 365 nm. Die Messungen sind jedoch recht ungenau (ca. 10 %) und nicht linear, da das Si-Element nicht wie erforderlich im Kurzschluß über einen Operationsverstärker betrieben wird.

Es kann mit diesen Meßgeräten keine kurzwellige UV-Strahlung aufgenommen werden, wie sie besonders von den HNS-Lampen erzeugt wird. Bei den hier verwendeten UV-Strahlern kann man jedoch davon ausgehen, daß sich die meßbaren und nicht meßbaren Strahlungsanteile der Lampen proportional verhalten, d. h. der Strahlstärkeverteilungskörper ist homogen. Die Meßdaten der konstruktiv verschiedenen Lampen sind aber nicht untereinander vergleichbar.

Methode der Lichtmessungen

Aus schwarzem Karton wird eine Schablone angefertigt, die dem Probenträger entspricht: Konzentrische Kreise der Radien 75 mm, 115 mm, 155 mm und 195 mm werden sternförmig 16fach unterteilt. 155 mm entspricht dem Radius der äußeren Probenbefestigung, 115 (116) mm dem Radius der inneren Probenbefestigung. Die zwischen dem 2. und 3. Kreis liegende Fläche entspricht dem Bereich,

in dem sich während der Bestrahlung die Proben befinden. Die Lichtquelle wird so über der Mitte der Schablone befestigt, daß der Abstand von dem Brenner bis zu dem auf dem Mittelpunkt liegenden Photoelement 178 mm beträgt. Die Bestrahlungsstärke an jedem Meßpunkt wird auf ein Meßblatt am entsprechenden Ort eingetragen. Es entstehen bei 4 Lampen mit je 2 Instrumenten 8 Meßblätter. Meßwerte siehe Tabellen 10 - 17 im Anhang.

Antwortung

Auf dem Meßblatt werden 2 im Winkel von 90° zueinander stehende Durchmesser ausgewählt, auf denen möglichst alle Maximal- und alle Minimalwerte liegen. Diese Werte ergeben die Kurven in den Abbildungen 9 - 16 (Maximumlinie durchgezogen, Minimumlinie unterbrochen). Die senkrechte unterbrochene Linie entspricht der Achse Reflektor - Lampe - Probenträger. Im Bereich P sind die Proben auf dem Probenträger befestigt. Die Schnittpunkte mit den Kurven ergeben die Bestrahlungsstärkebereiche für die einzelnen Bestrahlungsquellen. Die Intensitäten sind auf der Ordinate in mW/cm^2 für die mit dem Ultraviolet Intensity Meter gemessene UV-Strahlung und in Lux (lx) für die mit dem Luxmeter ge-

gemessene sichtbare Bestrahlung eingetragen. Die Abbildungen zeigen die unterschiedlichen Bestrahlungsstärken der verschiedenen Lichtquellen in den entsprechenden Empfindlichkeitsbereichen der Meßinstrumente. Die Lichtmenge der Quecksilber-Niederdrucklampen erscheint zu schwach, weil ihr Maximum bei 254 nm liegt. In diesem Bereich sind die Meßinstrumente jedoch unempfindlich.

Wenn die Strahlstärkefunktion der Lichtquelle und die relative spektrale Empfindlichkeit des Empfängers des verwendeten Gerätes bekannt sind, dann kann auf die wirklichen Bestrahlungsstärken in verschiedenen Wellenlängen bei den verschiedenen Lampen umgerechnet werden.

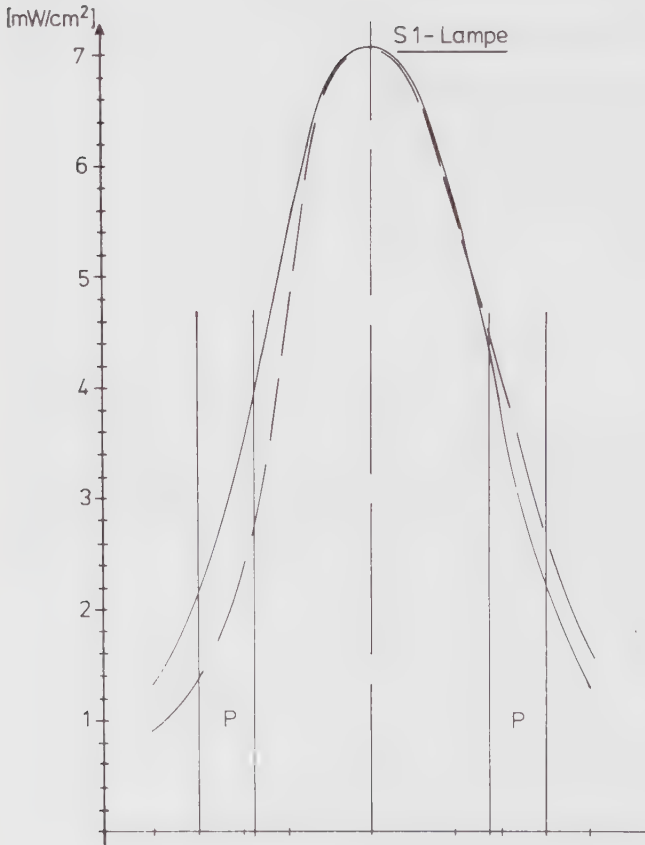


Abb. 9 UV-Bestrahlungsstärke in mW/cm^2 unter der S 1-Lampe im Abstand von 178 mm
P = Probenbereich

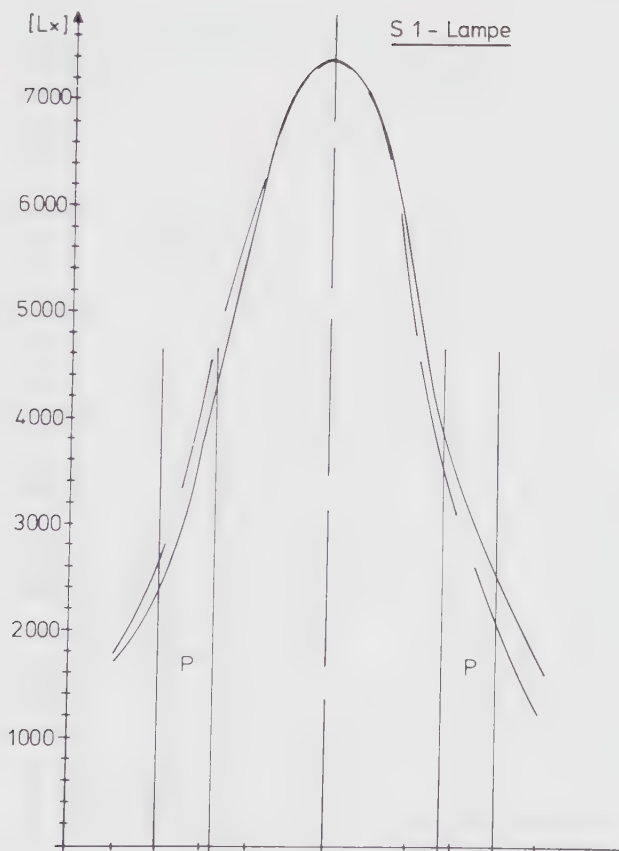


Abb. 10 Beleuchtungsstärke in lx unter der
S 1-Lampe im Abstand von 178 mm

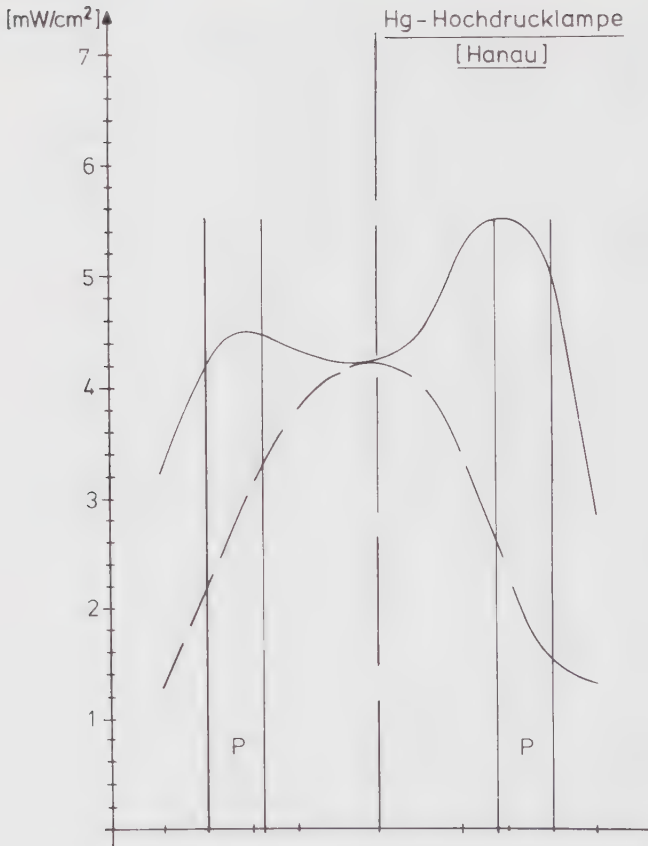


Abb. 11 UV-Bestrahlungsstärke in mW/cm^2 unter
der Hg-Hochdrucklampe im Abstand von
178 mm

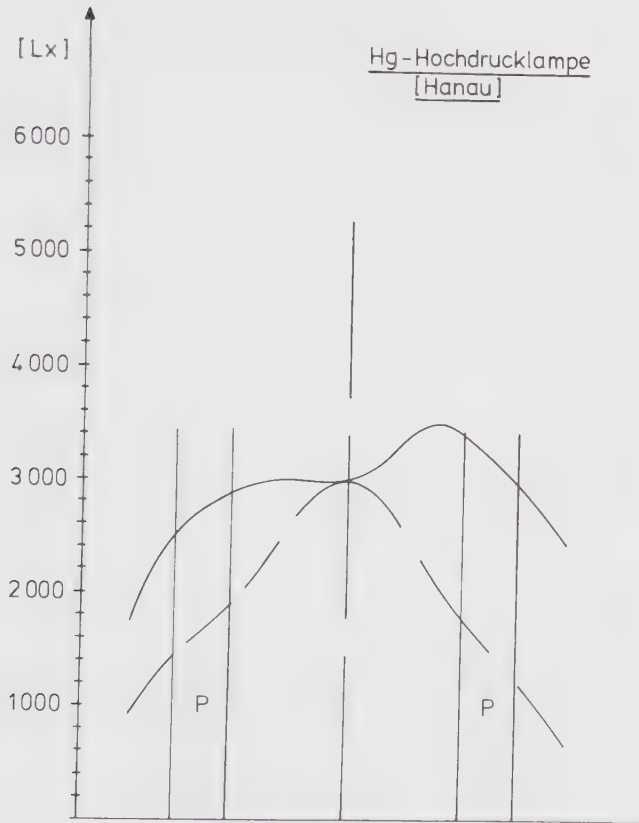


Abb. 12 Beleuchtungsstärke in lx unter der
Hg-Hochdrucklampe im Abstand von
178 mm

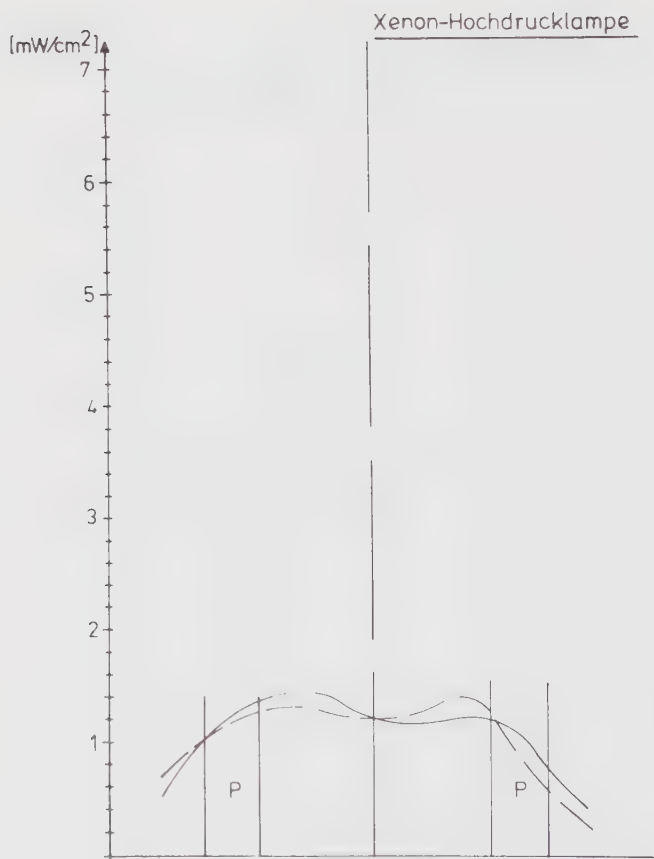


Abb. 13 UV-Bestrahlungsstärke in mW/cm^2 unter der Xenon-Hochdrucklampe im Abstand von 178 mm

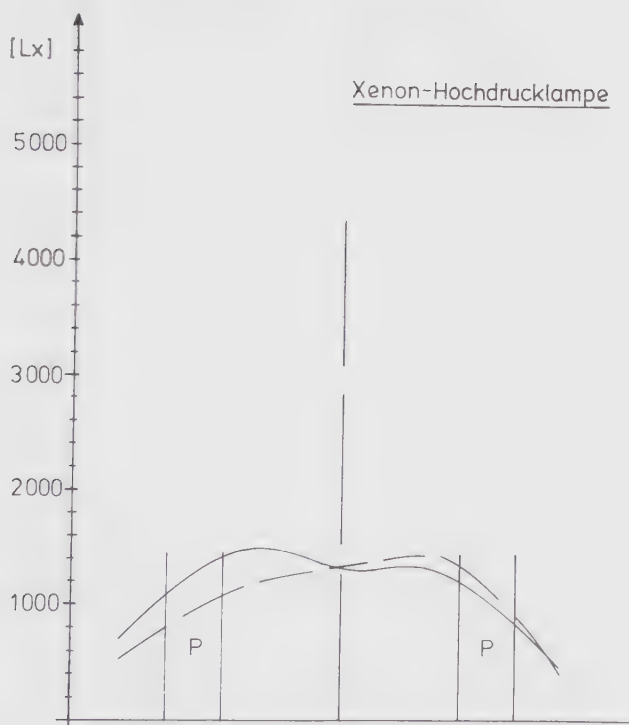


Abb. 14 Beleuchtungsstärke in lx unter der
Xenon-Hochdrucklampe im Abstand von
178 mm

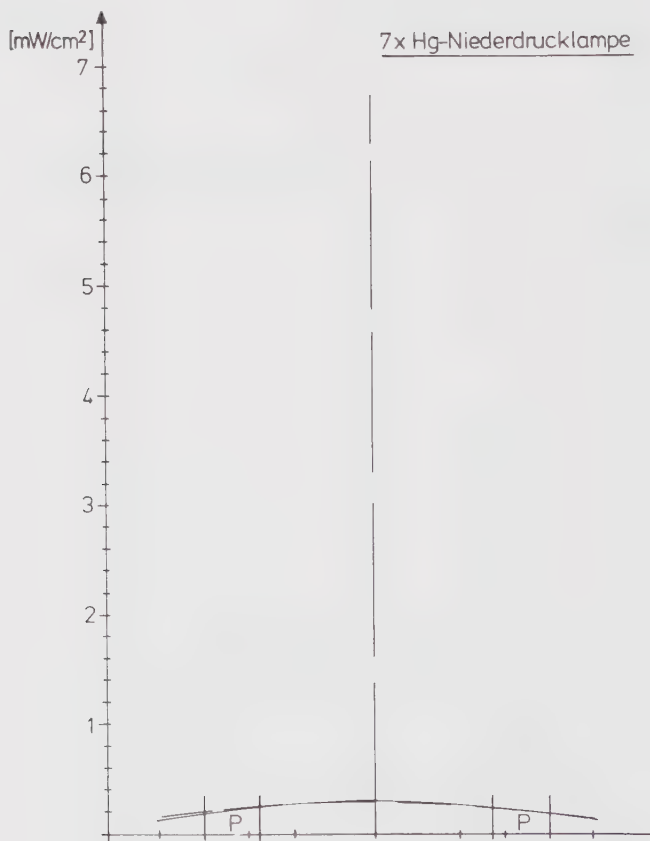


Abb. 15 UV-Bestrahlungsstärke in mW/cm^2 unter
der Hg-Niederdrucklampe im Abstand
von 178 mm

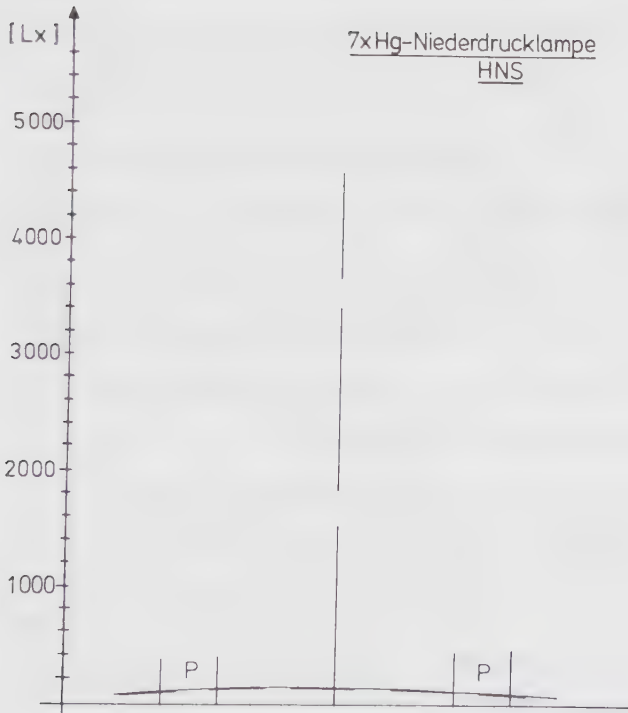


Abb. 16 Beleuchtungsstärke in lx unter der
Hg-Niederdrucklampe im Abstand von
178 mm

2.2.3. Versuchsanforderungen

1. Das Ziel der experimentellen Untersuchung von zahnärztlichen Kunststoffen auf Farbbeständigkeit soll sein, Materialien zu finden, die im Munde farbbeständig sind. Dabei können aber die Mundverhältnisse nur schwer vollständig nachgeahmt werden. Außerdem sollen sich die Veränderungen experimentell schneller einstellen als klinisch. Deshalb ist die im Versuch gebrauchte UV-Dosis erheblich höher als sie klinisch jemals auftritt. Wollte man die Mundverhältnisse exakt nachahmen, müßte man viele wechselnde Faktoren berücksichtigen:

- a) Temperaturen, wechselnd zwischen 0 und 60° C, Durchschnittstemperatur gering unter 37° C;
- b) fast ständige Befeuchtung durch Speichel;
- c) wechselnder Kontakt mit Nahrungs- und Genußmitteln sowie Medikamenten;
- d) wechselnde, eher geringe Bestrahlung durch Licht (im Mund ist es meist dunkel);
- e) wechselnde, sehr unterschiedliche mechanische Beanspruchung.

Temperaturwechsel und mechanische Beanspruchung werden als recht unbedeutend für die Verfärbung angesehen, der Einfluß von Speichel, Nahrungs- und Genußmitteln sowie Medikamenten läßt sich experimentell nur sehr schwer rekonstruieren.

Es bleibt daher, auch stellvertretend für die anderen Faktoren, nur die UV-Bestrahlung als experimentell Verfärbung auslösender Faktor. HINTZE (28) weist schon darauf hin, daß die Versuchsdurchführung nach der FDI-Spezifikation Nr. 3 (21) mit der Versuchsdurchführung im Trockenen bei 60 - 65° C nicht den klinischen Gegebenheiten entspricht und zu abweichenden Resultaten führen kann. Es erscheint für das Experiment ausreichend, die Bestrahlung unter destilliertem Wasser von 37° C durchzuführen, zumal destilliertes Wasser für UV-Strahlung nahezu 100 % durchlässig ist, Infrarot dagegen fernhält (39, 45). Auch die in der Spezifikation genannte Rotationsgeschwindigkeit von 33 Umdrehungen/min sollte nicht überbewertet werden. Von Wichtigkeit ist nur, daß alle auf dem Probenträger befindlichen Materialien gleichmäßig bestrahlt werden.

2. Versuchsaufbau

Um die Proben unter einer 10 mm dicken Schicht von destilliertem Wasser bei 37° C zu bestrahlen, sind am Versuchsaufbau nach der FDI-Spezifikation Nr. 3 (21) einige Änderungen notwendig. Abbildung 17 zeigt den Versuchsaufbau.

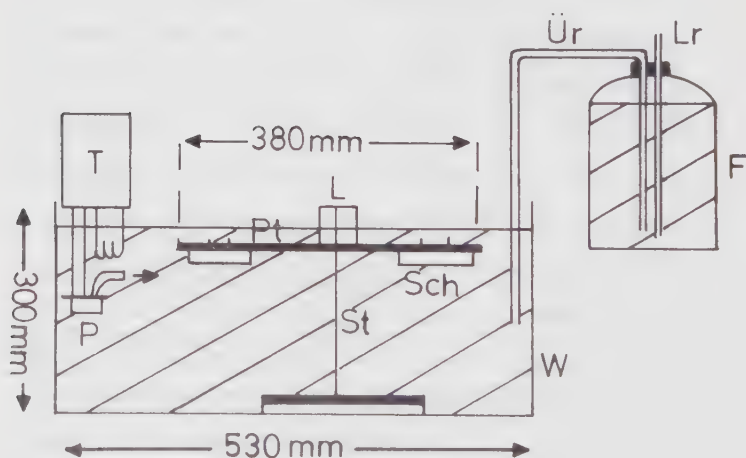


Abb. 17 Versuchsanordnung zur Rotation der Proben unter Wasser

W = Wanne mit Wasser	Pt = Probenträger
T = Einhängethermostat	Sch = Schaufel
P = Pumpe	F = Flasche
St = Stativ	Ür = Überlaufrohr
L = Lager	Lr = Luftrohr

Ein Gefäß (W = ovale Plastikwanne mit etwa 530 mm x 420 mm Durchmesser) mit 30 l Inhalt dient als Wasserbad. Das Wasser wird durch einen Thermostaten (T = Haacke Einhängethermostat E 52) mit einer Heizspirale auf $37^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ gehalten. Die Kreiselpumpe (P) wälzt das Wasser um. Als Probenträger (Pt) dient die nach der FDI-Spezifikation Nr. 3 (21) vorgesehene Aluminiumplatte mit 380 mm Durchmesser. Damit sich das Lager (L) außerhalb des Wassers befindet, ist es an einem Bügel von 90 mm Höhe und 45 mm Breite in der Mitte über der Platte befestigt. Die Platte ist drehbar auf einem Stativ (St) gelagert und befindet sich 10 mm unter der Wasseroberfläche.

Der aus der Pumpe austretende Wasserstrahl (Pfeil) ist so auf 5 symmetrisch unter der Platte angeordnete Schaufeln (Sch) von 20 mm x 100 mm gerichtet, daß sich die Platte mit etwa 15 Umdrehungen/min bewegt. Eine Nachfüllautomatik sorgt dafür, daß aus der Flasche (F) Wasser nachläuft, wenn der Spiegel durch Verdunstung gesunken ist. Ist der Spiegel im Wasserbad unter das Niveau des unteren Luftrohrendes (Lr) gesunken, so strömt durch das Rohr Luft in die Flasche. Der Luftdruck treibt dann das Wasser aus der Flasche durch das Überlaufrohr (Ür), bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist.

2.2.4. Vorversuch

Bestrahlung

1. S 1-Lampe

Die Untersuchung wird gemäß der FDI-Spezifikation Nr. 3 (21) durchgeführt. Abweichend von der Spezifikation werden die Proben in dem oben beschriebenen Wasserbad bestrahlt. Um eine Erwärmung des Wassers über 37°C zu verhindern, muß mit einem Ventilator gekühlt werden.

Da die Verfärbungen des SH-Referenzmaterials nach 24 Stunden Bestrahlung sehr gering sind (bei der herkömmlichen Bestrahlung nach der FDI-Spezifikation Nr. 3 war sie sehr stark (HINTZE, 28)), kann gefolgert werden, daß die hohe Temperatur bzw. der hohe IR-Anteil im Licht der S 1-Lampe wesentlich zu den bisher beobachteten Verfärbungen beigetragen haben. Die IR-Strahlung wird durch die Wasserschicht nun jedoch von den Proben ferngehalten.

Es standen vier S 1-Lampen zur Verfügung, die nach einer Einbrennzeit von 50 Stunden nur 120, 78, 24 und 2 Stunden brannten.

2. Quecksilber-Hochdrucklampe

a) Zunächst findet das Fluotest-Forte-Gerät (Hanau Quarzlampen GmbH) im Originalzustand Verwendung:

Wegen des recht kleinen Lichtaustrittswinkels muß der Strahler 300 mm über dem Probenträger montiert werden. Nach 24stündiger Bestrahlung zeigt das SH-Referenzmaterial eine gerade eben sichtbare Verfärbung.

b) Um die Verfärbungsintensität zu steigern, wird das Filter entfernt. Nach 24 Stunden Bestrahlung ist die Verfärbung deutlich sichtbar, jedoch wesentlich schwächer als die von HINTZE (28) im Trockenen erzielten Verfärbungen.

c) Um die Bestrahlungsstärke auf den Proben zu vergrößern und den Bestrahlungsabstand verkürzen zu können, wird der Quarzbrenner ohne Filter in dem zur S 1-Lampe gehörigen Reflektor montiert. Nach 24stündiger Bestrahlung aus 178 mm Abstand ist die Verfärbung des SH-Materials sehr gut sichtbar.

3. Xenon-Hochdrucklampe

a) Die ersten Bestrahlungsversuche erfolgen mit einer 162 W Wechselstrom-Xenonlampe in einem Reflektor von 200 mm Durchmesser. Es wird mit und ohne Filterscheibe 24 Stunden bestrahlt. Wegen des

kleinen Lichtaustrittswinkels muß aus 300 mm Abstand bestrahlt werden. Die Verfärbungen des SH-Materials sind sehr gering.

b) Die Verwendung eines mit Aluminiumfolie ausgelegten Reflektors von 500 mm Durchmesser bringt keine stärkere Verfärbung.

c) Zur Erhöhung der Bestrahlungsstärke auf den Proben und zur Vereinheitlichung wird der Brenner XBO 162 ebenfalls in den zur S 1-Lampe gehörigen Reflektor eingebaut. Zur Erzielung stärkerer Verfärbungen wird die Bestrahlungszeit verlängert. Nach 48 Stunden Bestrahlung ist die Verfärbung deutlicher zu erkennen als nach 24 Stunden. Außerdem kann ein milchiger Schleier auf den Proben festgestellt werden.

4. Quecksilber-Niederdrucklampe HNS 15 W

a) Bei der Bestrahlung des SH-Materials mit einer einzigen HNS-Lampe (Entkeimungslampe) über 24 Stunden können geringe Verfärbungen und ein milchiger Belag festgestellt werden.

b) Durch Verwendung von 7 HNS-Lampen werden sowohl Verfärbung als auch Belag verstärkt. Dieser Belag, der etwas schwächer auch nach Bestrahlung durch die Xenonlampe auftritt, wird erst sichtbar, nachdem die

Probe aus dem Wasser genommen wird. Erneutes Eintauchen in Wasser läßt den Belag aber nicht verschwinden. Er ist leicht mit dem Fingernagel zu entfernen. Durch Schaben entstandenes weißes Pulver läßt sich rückstandsfrei verbrennen. Durch diesen Test ist eine anorganische Zusammensetzung des Belages auszuschließen. Die Abbildungen 18 - 21 zeigen elektronenmikroskopische Aufnahmen der unveränderten und der veränderten Oberfläche von SH-Material. Entsprechende Beläge sind auch bei den anderen Materialien makroskopisch festzustellen, bei den Composites sind sie jedoch geringer.

Während die unbestrahlte Oberfläche eine für Methacrylat typische Struktur zeigt (die Erhebungen sind Polymerkugeln), läßt die bestrahlte Oberfläche einen Strukturverlust erkennen. Die Oberfläche ist zerstört worden. Nach FISCHER (22) und der MODERN PLASTICS ENCYCLOPEDIA (46) löst UV-Strahlung in Methacrylaten chemische Reaktionen aus. JAHNKE (36) stellt eine Abnahme des Molekulargewichts nach UV-Bestrahlung fest, und nach ACHAMMER (zitiert nach JAHNKE, 36) wird Methacrylat durch UV-Strahlung von 253 nm (das ist das Maximum der Quecksilber-Niederdrucklampe) bei 130° C im Vakuum abgebaut.

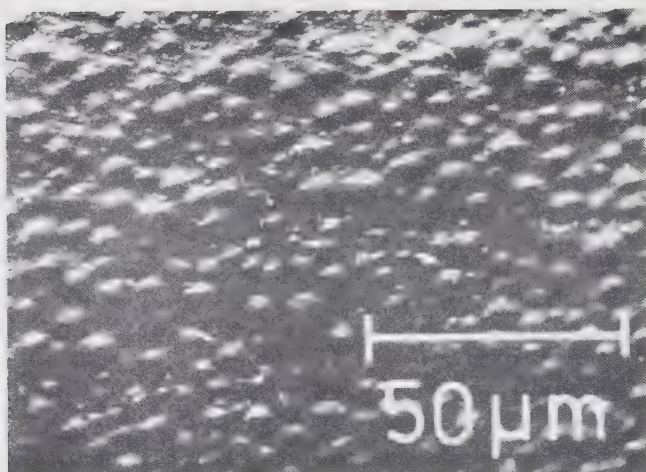


Abb. 18 REM-Aufnahme (REM = Raster-Elektronenmikroskop)
Unveränderte Oberfläche einer unbestrahlten
SH-Probe.
Polymerkugeln heben sich deutlich hervor.

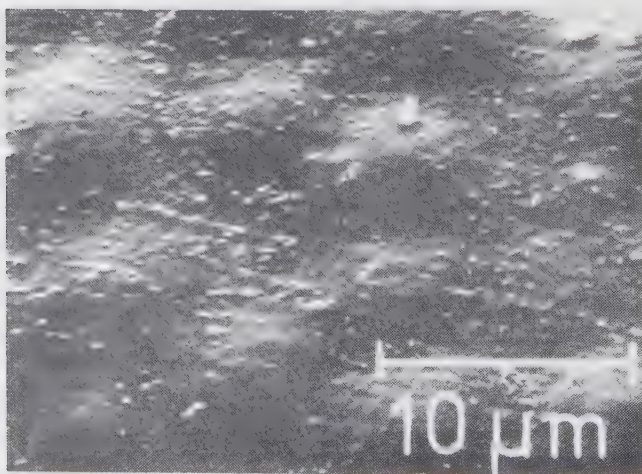


Abb. 19 Stärkere Vergrößerung von Abb. 18

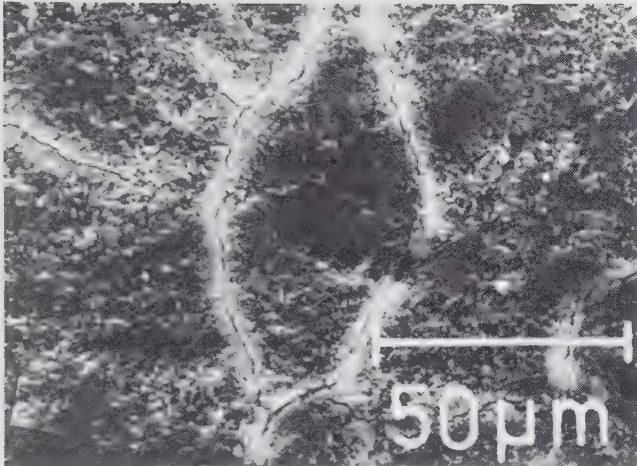


Abb. 20 REM-Aufnahme einer mit UV-C (Hg-Niederdrucklampe) bestrahlten SH-Probe. Veränderte Oberfläche, aufgelockerte Oberflächenstruktur. Es sind keine Polymerkugeln zu erkennen.

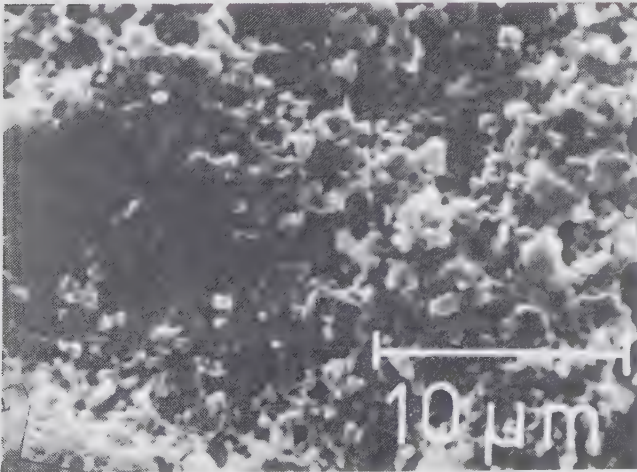


Abb. 21 Stärkere Vergrößerung von Abb. 20
Schwammartige Struktur

Da bei eigenen Versuchen die Quecksilber-Niederdrucklampe im Trockenen keinen weißen Belag auf den Proben hervorruft, kann man annehmen, daß erst das Wasser in die gelockerte Struktur eindringt und das Polymer lösen muß.

Da UV-C Strahlung aus dem Sauerstoff der Luft Ozon bildet, kann auch aus Wasser und Ozon H_2O_2 entstehen. Um ohne Bestrahlung den möglichen H_2O_2 -Einfluß zu prüfen, werden Materialproben für 24 Stunden in 30 %, 10 % und 3 % H_2O_2 bei Zimmertemperatur aufbewahrt. Es zeigen sich aber keine Beläge.

5. Standardisierung

Um die verschiedenen Bestrahlungsquellen miteinander vergleichen zu können, muß eine annähernd gleiche Verfärbung angestrebt werden. Dazu wird das Referenzmaterial SH unter den oben genannten Bedingungen zeitlich abgestuft bestrahlt. Materialproben, deren Farbort ermittelt wurde, werden 12, 24, 48, 72 und 96 Stunden lang belichtet. Nach jeder Bestrahlung wird der Farbort erneut bestimmt und die Verfärbung gegenüber der Ausgangsfarbe errechnet.

Farbortbestimmung und Farbabstandsberechnung werden bei der Bundesanstalt für Materialprüfung durchgeführt.

Abbildung 22 zeigt den Farbabstand ΔE_{AN} über der Bestrahlungszeit aufgetragen.

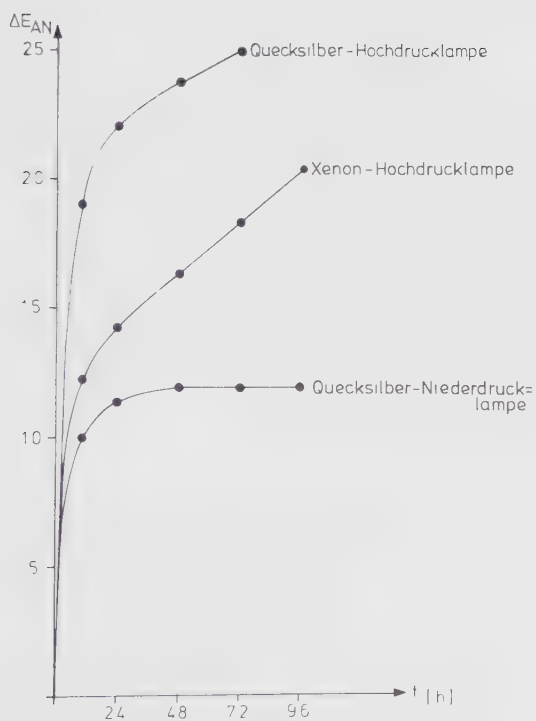


Abb. 22 Farbveränderung von SH-Proben durch verschiedene Bestrahlungsquellen

Die Quecksilber-Hochdrucklampe ruft die stärksten Verfärbungen hervor. Zu Beginn der Bestrahlung nimmt die Verfärbung am stärksten zu, nach 24 Stunden nicht mehr so stark.

Die Verfärbung durch die Xenon-Hochdrucklampe ist deutlich geringer als die durch die Quecksilber-Hochdrucklampe. Auch hier treten die stärksten Verfärbungen innerhalb der ersten 24 Stunden auf, um dann weniger stark, von dort an aber annähernd linear zuzunehmen. Erst nach 96 Stunden ist die Verfärbung so stark wie die durch die Quecksilber-Hochdrucklampe nach 24 Stunden.

Die geringste Verfärbung wird durch die Quecksilber-Niederdrucklampe HNS hervorgerufen. Zu Beginn ist sie zwar noch relativ stark, nach 24 Stunden aber nur halb so stark wie die der Quecksilber-Hochdrucklampe. Nach 48 Stunden nimmt die Verfärbung nicht mehr zu. Als Ursache dafür kommt vor allem der weiße Belag in Betracht. Da der Belag auch die Farbmessung behindert, muß er vorher entfernt werden. Das geschieht am Poliermotor mit einer Bürste und Bimssteinbrei. Bei dieser Bearbeitung wird auch ein Teil

der Verfärbung zwangsläufig mit entfernt.

Folgerung:

Eine 24stündige Bestrahlung mit der Quecksilber-Hochdrucklampe ist bezüglich der Verfärbung von SH-Referenzmaterial ausreichend und vergleichbar einer 96stündigen Bestrahlung mit der Xenon-Hochdrucklampe. Durch die Quecksilber-Niederdrucklampe (HNS) ist unter den geschilderten Versuchsbedingungen keine vergleichbare Verfärbung zu erzielen. Wegen der starken Belagbildung ist die HNS-Lampe nur mit Einschränkungen verwendbar.

2.2.5. Hauptversuche

1. Versuchsdurchführung

- a) In drei Versuchsdurchgängen wird jeweils eine Probe eines jeden Materials, also 13 Proben, unter den beschriebenen Bedingungen 24 Stunden lang mit der Quecksilber-Hochdrucklampe (Hanau) bestrahlt.
- b) In drei Versuchsdurchgängen wird jeweils eine Probe eines jeden Materials 96 Stunden lang mit der Xenon-Hochdrucklampe bestrahlt. Bei allen Versuchen wird darauf geachtet, daß von Serie zu Serie abwechselnd Ober- und Unterseite der Proben bestrahlt werden. Diese Maßnahme ist erforderlich, da die beiden Seiten der Composite-Proben makroskopisch keine völlig identischen Oberflächenstrukturen aufweisen.
- c) Eine Probe eines jeden Materials wird unter den oben beschriebenen Bedingungen 96 Stunden lang mit der Quecksilber-Niederdrucklampe (HNS-Entkeimungslampe) bestrahlt.

Alle Proben werden vor der Bestrahlung zu einem Viertel in einem Segment mit Zinnfolie abgedeckt, um breit

aneinander stoßende verfärbte und unverfärbte Flächen zu gewinnen.

Von allen Proben aus den Versuchsreihen b und c wird am Poliermotor mit Bürste und Bimssteinbrei der weiße Belag entfernt. Danach werden alle Proben farbvermessen und es wird der Farbabstand gegenüber dem Meßwert vor der Bestrahlung ermittelt.

Zwischen Herstellung, Farbmessung, Bestrahlung und erneuter Farbmessung werden die Proben im Kühlschrank bei ca. 5° C gelagert. Bei der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), wo die Farbmessung stattfindet, lagern die Proben jedoch für 3 - 4 Tage bei Zimmertemperatur. Da die Proben innerhalb von mehreren Monaten hergestellt werden, die Farbmessung und Bestrahlung aber nur wenige Tage dauern, ist die Lagerzeit der einzelnen Proben unterschiedlich lang.

	unbestrahlte Blindprobe	Hanau 24 h	Xenon 96 h	HNS 96 h
SH	0,8	20,9 (o) 21,9 (u) 22,2 (o) $\bar{x}$ 21,7	18,7 (o) 20,4 (o) 19,2 (u) $\bar{x}$ 19,4	12,5
Paladon	1,0	2,7 (o) 2,3 (u) 2,4 (u) $\bar{x}$ 2,6	2,3 (o) 2,4 (o) 2,3 (u) $\bar{x}$ 2,3	3,3
Palapress	0,8	7,4 (o) 7,3 (u) 7,5 (u) $\bar{x}$ 7,4	3,9 (o) 4,0 (o) 4,5 (u) $\bar{x}$ 4,1	5,5
Paladur	0,1	4,7 (o) 4,7 (u) 4,5 (u) $\bar{x}$ 4,6	3,7 (o) 3,3 (o) 3,9 (u) $\bar{x}$ 3,6	8,4
Palaferm	0,5	8,4 (o) 8,2 (o) 8,8 (u) $\bar{x}$ 8,5	4,4 (o) 2,6 (o) 4,2 (u) $\bar{x}$ 3,7	4,6
Palavit 55	0,7	5,6 (o) 5,5 (u) 5,5 (u) $\bar{x}$ 5,5	0,8 (o) 0,7 (o) 0,7 (u) $\bar{x}$ 0,7	2,8
Sevriton	0,7	1,4 (o) 2,3 (u) 2,1 (u) $\bar{x}$ 1,9	2,6 (o) 3,9 (o) 2,9 (u) $\bar{x}$ 3,1	2,8
Palakav	0,7	7,7 (o) 6,3 (u) 7,2 (u) $\bar{x}$ 7,1	3,8 (o) 6,0 (o) 3,5 (u) $\bar{x}$ 4,4	6,3
TD 71	0,6	4,7 (o) 4,8 (o) 4,4 (u) $\bar{x}$ 4,6	5,9 (o) 5,0 (u) 7,4 (u) $\bar{x}$ 6,1	8,6
Adaptic	1,7	6,8 (o) 6,0 (o) 5,7 (u) $\bar{x}$ 6,2	2,8 (o) 6,0 (u) 4,3 (o) $\bar{x}$ 4,4	8,2
Concise	0,5	9,8 (o) 11,0 (o) 10,9 (u) $\bar{x}$ 10,6	5,3 (o) 6,6 (o) 6,2 (u) $\bar{x}$ 6,0	13,7
Cosmic	0,2	4,5 (o) 6,0 (o) 3,9 (u) $\bar{x}$ 4,8	4,0 (o) 3,3 (o) 3,0 (u) $\bar{x}$ 3,4	5,6
Estic	0,5	4,6 (o) 3,9 (o) 3,3 (u) $\bar{x}$ 3,9	5,1 (o) 5,4 (u) 6,4 (u) $\bar{x}$ 5,6	10,0

Tab. 4 Farbveränderungen nach Bestrahlung (in ΔE_{AN})

o = Proben von der Oberseite bestrahlt und gemessen

u = Proben von der Unterseite bestrahlt und gemessen

$\bar{x}$ = Durchschnittswert

In der ersten Spalte sind die Farbabstände der unbestrahlten Blindproben aufgeführt. Diese Werte geben Aufschluß über mögliche Fehler bei der Farbauswertung. Außerdem gehen hier auch alle Farbveränderungen der Proben ein, die nicht während der Bestrahlung erfolgen. Solche Farbveränderungen sind nicht völlig auszuschließen; es könnten während der Lagerzeit chemische Reaktionen in den Proben ablaufen, die die Farbe beeinflussen.

Die Richtung der Farbänderung der Blindproben ist jedoch nicht identisch mit der Farbänderungsrichtung durch die Bestrahlung. Durch o = oben und u = unten wird gekennzeichnet, ob die Ober- oder Unterseite der Proben bestrahlt und gemessen wurde.

Die Abbildungen 23, 24 und 25 veranschaulichen die Tabellenwerte.

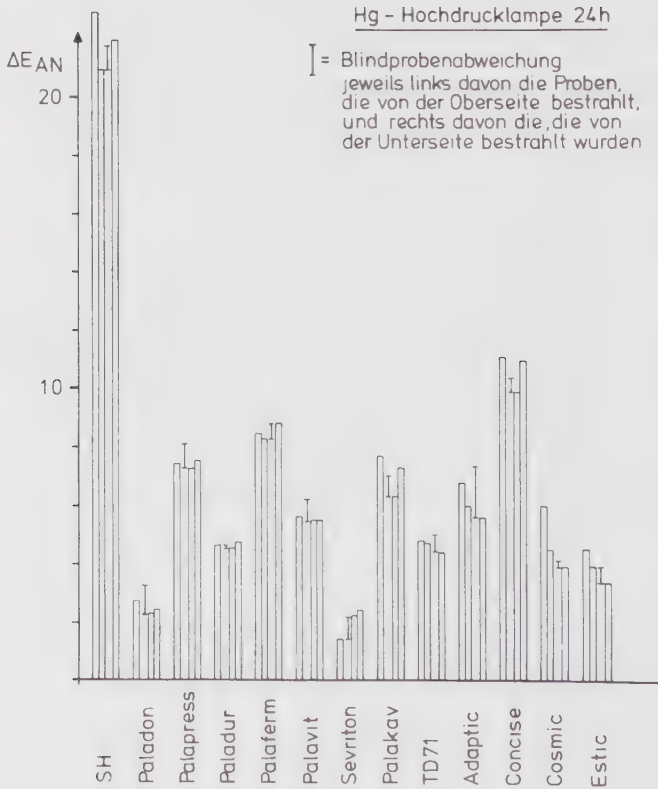


Abb. 23

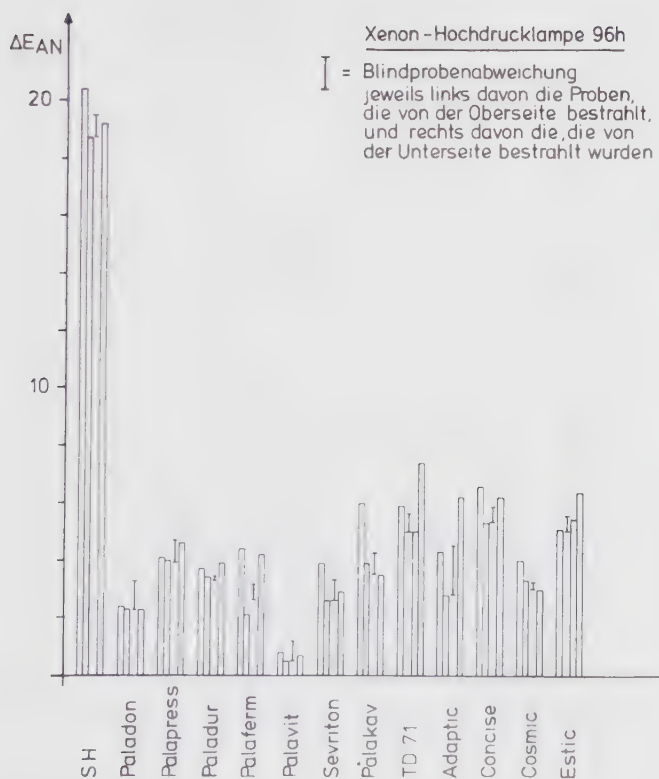


Abb. 24

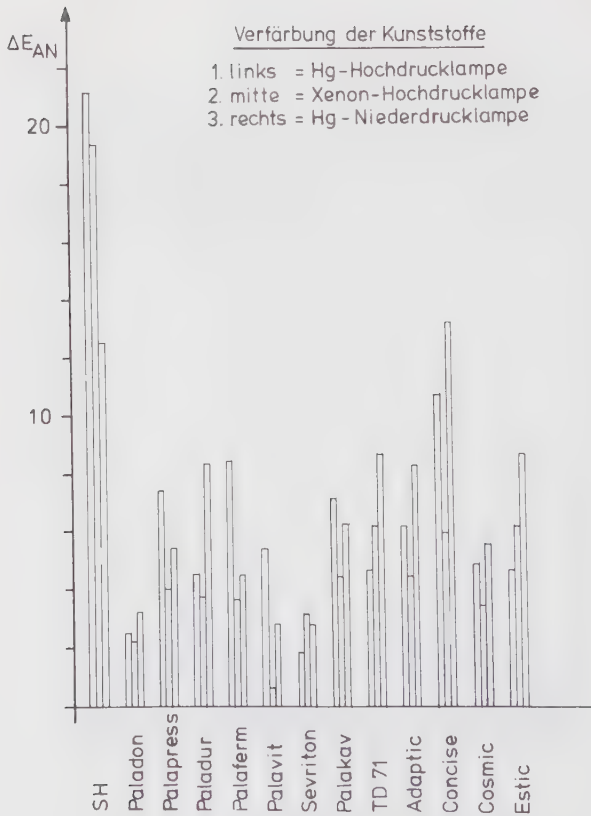


Abb. 25

2. Auswertung

2.1. Physikalische Farbbestimmung

Wie aus der Abb. 25 ersichtlich, ruft die HNS-Lampe bei Adaptic, Concise, Cosmic, Estic, Paladur und Paladon stärkere Farbveränderungen hervor als die anderen Lampen.

Bei Palakav, Palaferm, Palapress, Palavit 55, SH-Material und TD 71 werden die stärksten Verfärbungen durch die Hg-Hochdrucklampe hervorgerufen.

Nur bei einem Material, bei Sevricon, ruft die Xenonlampe die stärksten Verfärbungen hervor.

Bei allen Materialien, bis auf Estic und Sevricon, verfärbt die Hg-Hochdrucklampe stärker als die Xenonlampe. Nur bei Sevricon und SH ist die Verfärbung durch die Xenonlampe stärker als die der HNS-Lampe.

Gegenüber allen Lampen sind Paladon und Sevricon besonders farbbeständig. Gegenüber der HNS-Lampe und Xenonlampe ist auch Palavit 55 farbbeständig. Das am wenigsten farbbeständige Material ist das

SH-Referenzmaterial. Concise ist unter den Füllungs-materialien am wenigsten farbbeständig. Palavit 55 scheint farbbeständiger zu sein als Palaferm und Palapress, obwohl diese Materialien chemisch sicherlich ähnlich sind.

In der Farbbeständigkeit gegenüber der HNS-Lampe ergibt sich die folgende Reihe: Am farbbeständigsten ist Palavit 55. Es folgen Sevrton, Paladon, dann mit Abstand Palaferm, Cosmic und TD 71 sowie Palapress und Palakav, dann Adaptic, Estic und Concise, welches sogar etwas stärker verfärbt wird als SH-Material.

Bei der Quecksilber-Hochdrucklampe sieht die Reihenfolge etwas anders aus: Hier beginnt die Reihe mit Sevrton als dem besten Material. Dann folgen in der Farbbeständigkeit Paladon, mit Abstand Estic, Paladur, Cosmic, Palavit 55, Adaptic, Palakav, Palapress und TD 71, Concise und als das am stärksten verfärbte Material SH.

Bei den Verfärbungen durch die Xenonlampe ist die Reihenfolge wiederum eine andere: Palavit 55 ist am farbbeständigsten. Dann folgen Paladon, Sevrton,

Cosmic, Paladur, Palaferm, Palapress, TD 71, Adaptic, Palakav, dann Estic, Concise und als letztes SH-Material.

Bei allen Füllungsmaterialien nach der modifizierten Bowen-Formel werden die stärksten Verfärbungen durch die HNS-Lampe bewirkt.

Besonders auffällig sind Abweichungen zwischen den Farbveränderungen der Quecksilber-Hochdruck- und Xenon-Hochdrucklampe beim Palavit 55. Während durch die Xenonlampe keine Veränderung bewirkt wird ($\Delta E_{AN} = 0,7$ wie $\Delta E_{AN} = 0,7$ bei der Blindprobe), ist die Farbveränderung durch die Quecksilber-Hochdrucklampe von $\Delta E_{AN} = 5,5$ recht erheblich. Bei Sevriton und Estic dagegen ist die Farbveränderung durch die Xenon-Hochdrucklampe stärker als die der Quecksilber-Hochdrucklampe.

2.2. Visueller Farbvergleich

Der visuelle Farbvergleich wird von drei normalsichtigen Personen (geprüft mit pseudoisochromatischen Farbtafeln) in Anlehnung an die von ERNI (20) geschilderte Methode durchgeführt:

Die Proben waren während der Bestrahlung zum Teil abgedeckt worden, so daß verfärbte und unverfärbte Fläche direkt aneinander grenzen. Als Unterlage wird hellgrauer Karton gewählt. Der Farbvergleich wird an einem Nordfenster um die Mittagszeit bei leicht bedecktem Himmel durchgeführt.

Zwischen Blindproben und dem abgedeckten Teil der bestrahlten Proben kann kein Unterschied festgestellt werden.

Unter den jeweils drei Proben eines Materials, die mit derselben Lampe bestrahlt wurden, können nur bei den Composites mit Mühe unterschiedliche Verfärbungen beobachtet werden. Zum Teil sind diese Unterschiede auf die Inhomogenitäten und unterschiedliche Oberflächenstrukturen der Proben zurückzuführen. Schwierigkeiten bereitet die Bewertung des Verfärbungsgrades bei primär verschiedenen Farben, also rosa und weißen bzw. zahnfarbenen Proben.

Zur besseren Übersicht werden die Verfärbungsgrade in 6 Kategorien gegliedert: sehr starke, starke, mittlere, schwache, sehr schwache und keine Verfärbung (Tab. 5 - 8).

Tab. 5 Visuell feststellbare Verfärbungen durch
die Hg-Hochdrucklampe (Hanau)

	sehr stark x	stark	mittel	schwach	sehr schwach	keine
SH	x					
Paladon						x
Palapress				x		
Paladur					x	
Palaferm		x				
Palavit 55			x			
Sevriton						x
Palakav		x				
TD 71					x	
Adaptic			x			
Concise		x				
Cosmic			x			
Estic			x			

Tab. 6 Visuell feststellbare Verfärbungen durch
die Xenon-Hochdrucklampe

	sehr stark x	stark	mittel	schwach	sehr schwach	keine
SH	x					
Paladon						x
Palapress				x		
Paladur				x		
Palaferm				x		
Palavit 55				x		
Sevriton						x
Palakav			x			
TD 71					x	
Adaptic			x			
Concise		x				
Cosmic				x		
Estic				x		

Tab. 7 Visuell feststellbare Verfärbungen durch
die Hg-Niederdrucklampe HNS

	sehr stark	stark	mittel	schwach	sehr schwach	keine
SH		x				
Paladon					x	
Palapress			x			
Paladur			x			
Palaferm			x			
Palavit 55				x		
Sevriton					x	
Palakav			x			
TD 71				x		
Adaptic		x				
Concise		x				
Cosmic			x			
Estic			x			

Tab. 8 Zusammenfassung: visuell feststellbare Ver-
färbungen durch die einzelnen Lampen
Bezeichnung der Kunststoffe nach Tab. 1, S. 28

	sehr stark	stark	mittel	schwach	sehr schwach	keine
Hg-Hoch- drucklampe	SH	Cc, Pk, Pf	A, Cm, E, Pv	Pp, TD	Pd	Pn, S
Xenon-Hoch- drucklampe	SH	Cc	A, Pk	E Pd Pf Pp	Cm, Pv	TD Pn, S
Hg-Nieder- drucklampe		A, Cc, SH	Cm, Pk, Pf, E, Pd, Pp	Pv, TD	Pn, S	

Diese Schematisierung kann sicherlich nicht alle Abstufungen berücksichtigen, wie die Einordnung von Estic, Paladur, Palaferm und Palapress zwischen den Kategorien "mittel" und "schwach" beweist; sie erleichtert aber die Übersicht.

Die HNS-Lampe verfärbt das SH-Material, Adaptic und Concise stark, Cosmic, Estic, Palakav, Paladur, Palapress und Palaferm mittel, Palavit 55 und TD 71 schwach, Paladon und Sevrton sehr schwach.

Die Quecksilber-Hochdrucklampe verfärbt SH sehr stark, Concise, Palakav und Palaferm stark, Adaptic, Cosmic, Estic und Palavit 55 mittel, Palapress und TD 71 schwach, Paladur sehr schwach, Paladon und Sevrton überhaupt nicht.

Die Xenon-Hochdrucklampe verfärbt SH sehr stark, Concise stark, Adaptic und Palakav mittel, Cosmic und Palavit 55 schwach. Estic, Paladur, Palaferm und Palapress werden zwischen den beiden letztgenannten Kategorien eingeordnet. TD 71 wird sehr schwach, Paladon und Sevrton werden nicht verfärbt.

Der Grad der Verfärbungen, die die HNS-Quecksilber-

niederdrucklampe hervorruft, reicht von "sehr schwach" bis "stark", während die Spanne der beiden anderen Strahler, Xenon-Hochdruck und Quecksilber-Hochdruck, von "keine Verfärbungen" bis "sehr stark" reicht. SH wird von Xenon-Hochdruck- und Quecksilber-Hochdruckstrahlern sehr stark verfärbt, Paladon und Sevriton von beiden Bestrahlungsquellen überhaupt nicht.

Concise wird von allen Lampen stark verfärbt, Cosmic und Estic von der Quecksilber-Hochdruck- und -Niederdrucklampe mittel, wie auch Palakav von der Quecksilber-Niederdruck- und Xenon-Hochdrucklampe mittel verfärbt wird. Adaptic wird von der Xenon-Hochdruck- und Quecksilber-Hochdrucklampe mittel verfärbt.

Palavit 55 wird schwach verfärbt von der Xenon-Hochdruck- und Quecksilber-Niederdrucklampe, wie TD 71 von der Quecksilber-Niederdruck- und der Quecksilber-Hochdrucklampe.

Die Verfärbungsgrade der einzelnen Kunststoffe differieren bei den verschiedenen Bestrahlungsquellen im allgemeinen um etwa einen Bewertungsgrad nach oben oder unten.

2.3. DISKUSSION

2.3.1. Untersuchungsmethode

1. Versuchsaufbau

Der in der vorliegenden Untersuchung verwendete Versuchsaufbau kommt in zwei Punkten den physiologischen Bedingungen näher als der Versuchsaufbau nach der FDI-Spezifikation Nr. 3(21):

- a) Die Bestrahlung wird bei 37°C statt bei $60 - 65^{\circ}\text{C}$ vorgenommen.
- b) Die Proben befinden sich während der Bestrahlung in destilliertem Wasser und nicht im Trockenem.

Unphysiologisch sind diese Bedingungen jedoch noch immer:

- a) Die Temperatur im Munde beträgt keineswegs 37°C , sie liegt etwas darunter und schwankt, bei Nahrungsaufnahme sogar beträchtlich.
- b) Im Munde wird das Material durch Speichel, Speisen und Getränke, nicht jedoch durch destilliertes Wasser befeuchtet.
- c) Bei Mundatmern kann das Material für längere Zeit trocken werden.

- d) Im Mund sind die Materialien mechanischer Belastung, vor allem der Abrasion, ausgesetzt.

Diese zahlreichen Faktoren sind jedoch so stark variabel, daß ihre Berücksichtigung im Experiment schwierig ist. Teilweise werden sie nur geringen Einfluß haben. Für eine einfache, schnelle und reproduzierbare Versuchsdurchführung ist die Bestrahlung bei 37° C in Wasser angemessen und bis zur Widerlegung durch andere Untersuchungen als ausreichend anzusehen. Die Rotation des Probenträgers beträgt bei der oben beschriebenen Versuchsanordnung ca. 15 Umdrehungen/min und entspricht damit nicht der FDI-Spezifikation Nr. 3(21). Die in der Spezifikation genannten 33 Umdrehungen/min scheinen jedoch willkürlich gewählt und entsprechen gerade der üblichen Drehzahl für Plattenspieler. Da die Rotation lediglich erfolgt, um alle Proben gleichmäßig zu bestrahlen, würde sicherlich schon 1 Umdrehung/min ausreichen, wenn die Rotationsgeschwindigkeit nur völlig gleichmäßig ist. Die Drehzahlreduzierung auf die Hälfte ist also ohne Bedeutung.

Die als Probenträger verwendete Aluminiumscheibe ist für die Verwendung unter Wasser nicht gut geeignet. Die Aluminiumscheibe wird durch das destillierte Wasser stark angegriffen und verändert ihre Oberfläche und damit die Reflexionseigenschaften. Bei weiteren Untersuchungen sollte ein anderes Material Verwendung finden, zumindest sollte aber die Aluminiumoberfläche vor Korrosion gut geschützt werden.

2. Bestrahlungsquellen

Die Bestrahlungsquellen haben die Aufgabe, so auf das Material einzuwirken, daß Verfärbungen hervorgerufen werden, wie sie auch klinisch auftreten. Diese Aufgabe kann theoretisch auch durch eine Bestrahlungsquelle erfüllt werden, die kein sonnenähnliches Licht liefert; denn die Verfärbungen im klinischen Bereich werden nicht nur durch das Sonnenlicht, sondern auch durch eine Reihe anderer Faktoren verursacht.

Ungeeignet sind Bestrahlungsquellen, die Effekte hervorrufen, die klinisch nicht zu beobachten sind (siehe 2.2.4.4.). Zu diesen Effekten zählen die weissen Beläge, wie sie besonders durch die UV-C Strah-

lung der Quecksilber-Niederdrucklampe HNS hervorgerufen werden. Bei der vorangegangenen Untersuchung konnten die Beläge zwar leicht entfernt werden, es kann jedoch nicht einwandfrei festgestellt werden, inwieweit Belagbildung und-entfernung die Versuchsergebnisse beeinflussen. Der Belag kann einen Schutz vor weiterer Bestrahlung und damit weiterer Verfärbung darstellen, außerdem muß befürchtet werden, daß bei der Entfernung des Belages auch verfärbter Kunststoff mitentfernt wird. Eine so starke Oberflächenveränderung der Proben könnte die Reproduzierbarkeit beeinträchtigen. Für das Zustandekommen der Beläge ist mittelbar oder unmittelbar die UV-C Strahlung verantwortlich. Die Oberflächenstruktur wird zerstört, wie die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen Abb. 20, 21 zeigen (siehe auch 2.2.4.4.). Obwohl die Lampen als "ozonfrei" bezeichnet werden, kann ein leichter Ozongeruch während des Betriebs festgestellt werden. Da Ozon und Wasser H_2O_2 bilden können, wurde auch versucht, die Beläge durch H_2O_2 hervorzurufen. Die Proben, die bis zu 96 Stunden in Perhydrol lagen, zeigten aber keine Veränderungen.

Bei künftigen Untersuchungen sollte keine Bestrahlungsquelle zur Anwendung kommen, deren Spektren sich

auf den UV-C Bereich erstrecken. Auch das Spektrum der Xenon-Hochdrucklampe enthält geringe Mengen UV-C Strahlung, die zu schwachen weißen Belägen führen, doch ist eine Korrektur mit Filtern möglich, so daß ihr Licht praktisch dem Sonnenlicht entspricht und kein UV-C enthält. Bei der Quecksilber-Niederdrucklampe ist eine derartige Korrektur jedoch unmöglich, da die Lampe fast nur UV-C abgibt.

Wie die vorliegende Untersuchung zeigt, ist es nicht möglich, unter den beschriebenen Bedingungen mit einer Xenon-Hochdrucklampe von 162 Watt bei einer Bestrahlungszeit von 24 Stunden ausreichende Verfärbungen hervorzurufen. Eine Verlängerung der Bestrahlungszeit hat jedoch auch Nachteile:

1. Der Versuch ist schwieriger zu überwachen.
2. Die Verweildauer der Proben im Wasser ist uneinheitlich. Es können abweichende Veränderungen der Proben auftreten.

Um bei kürzeren Bestrahlungszeiten ausreichende Verfärbungen zu erzielen, muß die Bestrahlungsstärke erhöht werden, wozu eine stärkere Xenon-Hochdrucklampe

benötigt wird. Um vergleichbare Resultate erzielen zu können, ist jedoch auch eine Standardisierung der spektralen Verteilung und Bestrahlungsstärke unerlässlich.

3. Licht- und Strahlungsmessungen

Während die spektrale Strahlungsverteilung sowie die Leistung eines Strahlers durch die Konstruktion bestimmt sind, ist die auf die Probe treffende Strahlungsleistung auch vom Bestrahlungsabstand und der Reflektorkonstruktion abhängig.

Da es sich um Lampen ohne Innenreflektor handelt, lassen die Herstellerangaben keine Schlüsse zu, wie hoch die auf die Probe treffende Bestrahlungsstärke ist.

Ein Vergleich der Bestrahlungsquellen ist nicht ohne weiteres möglich. Da aber der Strahlstärkeverteilungskörper der verwendeten Strahlungsquellen als homogen anzusehen ist, genügt bei bekanntem Spektrum schon die Messung bei einer Wellenlänge, um die Gesamtbestrahlungsstärke am jeweiligen Meßpunkt ermitteln zu können.

Die Licht- und Strahlungsmessungen erfolgten mit einfachen Mitteln, daher wird die Standardisierung nicht aufgrund der Messungen vorgenommen, sondern mit Hilfe des SH-Referenzmaterials. Die Lichtmessungen sind ausreichend für die Auswahl eines geeigneten Reflektors sowie der Brenneranordnung im Reflektor. Die Kurven weisen auf die Notwendigkeit der Probenrotation hin, um eine gleichmäßige Bestrahlung aller Proben zu ermöglichen.

Mit einer einzigen Messung, z. B. am zentralen Meßpunkt, kann festgestellt werden, wie stark die Strahlungsleistung des Brenners durch Alterung gegenüber der Erstmessung nachgelassen hat. Die Bestrahlungsdauer kann um einen entsprechenden Faktor verlängert werden.

4. Farbbestimmung

In der vorliegenden Untersuchung wird für die Farbmessung das Spektralverfahren angewendet, welches relativ aufwendig und teuer ist. Wichtig für den klinischen Bereich ist nur eine visuell feststellbare Farbveränderung. Eine Farbveränderung, die zwar meßbar, visuell aber nicht wahrnehmbar ist, kann vernachlässigt werden. Sie interessiert weder den Behandler noch den Patienten.

Da einerseits ein physikalisches Meßverfahren wünschenswert ist, um reproduzierbare Resultate zu erzielen, andererseits aber das Spektralverfahren für eine breite Anwendung zu aufwendig ist, kann als Kompromiß das verbesserte Dreibereichsverfahren vorgeschlagen werden.

Da die für die Farbmessung benötigte Fläche wesentlich kleiner ist als die Probenoberfläche, steht von daher einer Probenverkleinerung nichts im Wege. Nach Angaben der Bundesanstalt für Materialprüfung wird zur Zeit ein Gerät erprobt, das die Farbmessung kleinsten Flächen, also etwa einer labialen Kunststofffüllung, ermöglicht. Die Anwendung eines solchen Farbmeßgerätes bei klinischen Untersuchungen könnte Klarheit über die Korrelation zwischen klinischer und experimenteller Verfärbung schaffen.

5. Proben

Die in der FDI-Spezifikation Nr. 3 (21) vorgesehene Größe der Materialproben bezieht sich auf Prothesenmaterialien. Durch die Übernahme der Dimension auf Füllungskunststoffe treten Probleme auf: Der Mischvorgang einer kleinen Materialmenge für eine Kunst-

stofffüllung ist unterschiedlich vom Mischvorgang der relativ großen Kunststoffmenge für die Bestrahlungsprobe. Bei Kapselmateriale ist es besonders kompliziert: Vom TD 71 wird Material von 6 Kapseln benötigt. Es muß aus den Kapseln entfernt und von Hand gemischt werden, um auch nur eine annähernd homogene Probe zu erhalten.

Auch bei anderen Composites ist es nicht einfach, mit der herkömmlichen Mischmethode einwandfreie Proben herzustellen. Es wäre wünschenswert, für die Untersuchung von Füllungsmaterialien Probengrößen zu wählen, die den klinischen Dimensionen näherkommen (entspr. 33).

Unklarheit besteht auch über die Höhe des Druckes, unter welchem die Füllungskunststoffe polymerisieren sollen. Proben, die unter Druck erhärten, haben eine sehr glatte, spiegelnde Oberfläche. Proben aus Composite-Material, die nicht unter Druck erhärten, haben jedoch eine raue Oberfläche und daher auch ein anderes Reflexionsverhalten. Größere Abweichungen der Farbveränderung nach Bestrahlung könnten zwar nicht festgestellt werden, eine Vereinheitlichung sollte dennoch angestrebt werden, um auch in Grenz-

fällen beim visuellen Vergleich eine einheitliche Entscheidung treffen zu können (Abb. 23, 24).

2.3.2. Ergebnisse

Alle Materialien liefern nach der Bestrahlung andere Farbmeßwerte als vorher. Dieser Umstand bedeutet aber nicht, daß alle Materialien durch die Bestrahlung verfärbt werden: Auch Blindproben, die im Kühlschrank aufbewahrt wurden, zeigen gegenüber der Erstmessung Differenzen, die z. B. beim Palavit 55 etwa genauso groß sind wie die geringfügige Änderung nach Bestrahlung mit der Xenon-Hochdrucklampe.

Generell ist die Richtung der Farbabweichung bei den Blindproben jedoch nicht identisch mit der Richtung der Verfärbung durch Bestrahlung. Wahrscheinlich treten durch Inhomogenität der Proben und andere Faktoren (z. B. Oberflächenveränderungen) Meßfehler in der Größenordnung $1 \Delta E_{AN}$ auf.

Farbunbeständige Materialien, wie Concise und SH, werden von allen Bestrahlungsquellen stark verfärbt, farbbeständige Materialien, wie Sevriton und Paladon,

werden von keiner Bestrahlungsquelle stärker als "sehr schwach" verfärbt. Das entspricht auch den Ergebnissen von HINTZE (28) und anderen, doch sind dort die bei Concise beobachteten Verfärbungen wesentlich geringer.

Bei der vorliegenden Untersuchung werden alle Materialien durch die verschiedenen Bestrahlungsquellen uneinheitlich verfärbt. Es ist bemerkenswert, daß alle auf der modifizierten Bowen-Formel basierenden Composites ebenso wie Paladur und Paladon am stärksten durch die Quecksilber-Niederdrucklampe verfärbt werden. Alle anderen Kunststoffe werden durch die Quecksilber-Hochdrucklampe von Hanau am stärksten verfärbt. Eine Ausnahme bildet nur Sevriton, welches durch die Xenon-Hochdrucklampe am stärksten verfärbt wird. Nur bei diesem und bei Estic sind die Verfärbungen durch die Xenon-Hochdrucklampe stärker als die durch die Quecksilber-Hochdrucklampe. Ursache für dieses Verhalten kann zum einen die unterschiedliche spektrale Empfindlichkeit der verwendeten Katalysatorsysteme sein, zum anderen die unterschiedliche Wirksamkeit der UV-Absorber- bzw. Stabilisatorsysteme. Bei HINTZE (28) (Bestrahlung bei 60° C im Trockenen) ruft die Xenon-Hochdrucklampe bei Sevriton

die schwächste Verfärbung hervor, während Composites durch diese Lampe am stärksten verfärbt werden. Sie verfärbt auch Palavit 55 recht stark ($7\Delta E_{AN}$). Dieser hohe Wert wird in der vorliegenden Untersuchung, die im Gegensatz dazu bei $37^{\circ}C$ im Wasser erfolgt, nicht erreicht. Die Xenon-Hochdrucklampe ruft praktisch keine Verfärbungen hervor ($0,7\Delta E_{AN}$). Dagegen kommt die Verfärbung durch die Quecksilber-Hochdrucklampe von $5,5\Delta E_{AN}$ dem Ergebnis von HINTZE (28) recht nahe. Die relativ geringe Verfärbung von Paladur entspricht weder der klinischen Erfahrung noch den Ergebnissen anderer Autoren (6, 20, 28).

2.3.3. Vergleich physikalische - visuelle Ergebnisse

Beim Vergleich werden Verfärbungen über $14\Delta E_{AN}$ als "sehr stark" empfunden. Als "stark" werden Verfärbungen zwischen 6 und $13,7\Delta E_{AN}$ empfunden (Concise), als "mittel" Verfärbungen zwischen 3,9 und $10\Delta E_{AN}$ (Estic verfärbt durch Quecksilber-Niederdruck- und Quecksilber-Hochdrucklampe), als "schwach" zwischen 0,7 und $7,4\Delta E_{AN}$ (Palavit 55, TD 71 von Quecksilber-Hochdruck), als "sehr schwach" zwischen $2,8\Delta E_{AN}$ (Sevriton, Quecksilber-Niederdruck) und $4,6\Delta E_{AN}$ (Paladur, Quecksilber-Hochdruck).

Verfärbungen um $3 \Delta E_{AN}$ werden bei Paladon und Sevriton als nicht sichtbar ("keine") eingestuft, während die Verfärbung des Palavit 55 durch die Xenon-Hochdrucklampe ($0,7 \Delta E_{AN}$) als schwach bewertet wird.

Diese Aufstellung zeigt die recht beachtlichen Differenzen zwischen physikalischer und visueller Bewertung von Farbveränderungen.

Mögliche Ursachen gibt es einige: Die einzelnen Materialien sind primär von teilweise sehr verschiedener Farbe, Transparenz und Oberflächenstruktur. Die Oberfläche wird im Laufe des Versuchs auch verändert (Politur, Wassereinwirkung). Es ist auch zum Beispiel vorstellbar, daß eine relativ transparente Probe bei physikalisch gleicher Verfärbung weniger verfärbt erscheint als eine opake Probe.

Aus der Differenz der visuellen und physikalischen Bewertung kann die Ungenauigkeit visueller Beurteilung und die unbefriedigende Korrelation mit physikalischen Methoden gefolgert werden.

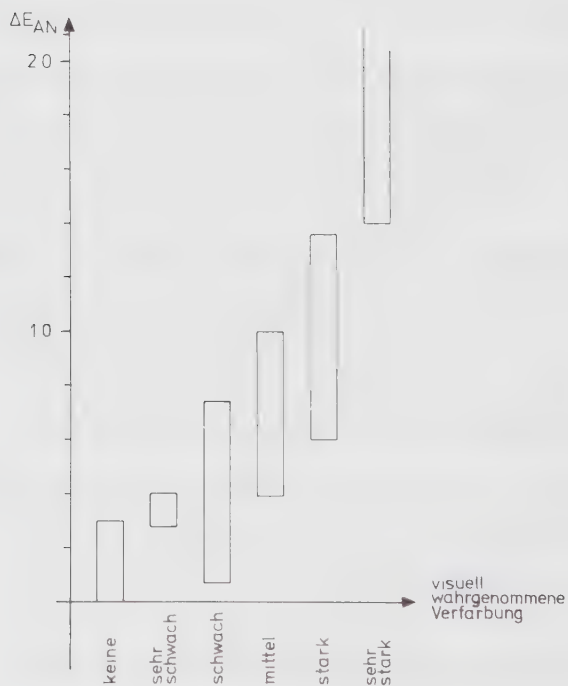


Abb. 26 Beziehungen zwischen visuell wahrgenommener und physikalisch gemessener Verfärbung

2. 4. Klinischer Hinweis

Die vorliegende Untersuchung bestätigt, daß es bis jetzt keinen absolut farbbeständigen Dentalkunststoff gibt. Sie zeigt auch, daß das Heißpolymerisat Paladon und das Sulfinsäure enthaltende Sevriton noch immer die farbbeständigsten Kunststoffe sind. Obwohl die Korrelation zwischen experimenteller und klinischer Verfärbung nicht immer befriedigend ist, bleibt die UV-Bestrahlung und Farbmessung der Proben wahrscheinlich die beste experimentelle Kurzzeitmethode zur Untersuchung der Farbbeständigkeit dentaler Kunststoffe.

3. ZUSAMMENFASSUNG

Es werden drei verschiedene Bestrahlungsquellen und zwölf verschiedene Dentalkunststoffe untersucht, davon zwei Prothesenkunststoffe, ein Kronen- und Brückenverblendmaterial, ein Reparatur- und Unterfütterungsmaterial, zwei konventionelle Füllungskunststoffe sowie sechs Composites.

Im Hauptversuch werden 84 Proben bei 37° C unter 10 mm Aqua destillata bestrahlt.

Die drei Bestrahlungsquellen - Quecksilber-Hochdrucklampe (24 h Bestrahlung), Xenon-Hochdrucklampe und Quecksilber-Niederdrucklampe (beide 96 h Bestrahlung) - rufen bei den Kunststoffen unterschiedliche Verfärbungen hervor. Farbmessungen werden mit dem Zweistrahlphotometer DMC 25 vorgenommen.

Obwohl Xenon-Hochdruck- und Quecksilber-Hochdrucklampe eine annähernd gleiche Leistungsaufnahme haben, muß mit der Xenon-Hochdrucklampe mehr als 4mal so lange bestrahlt werden, um eine durchschnittlich gleichstarke Verfärbung hervorzurufen. Es kön-

nen auch keine Proportionalitäten der Verfärbung festgestellt werden: Die Quecksilber-Niederdrucklampe verfärbt Composites stärker als die anderen Bestrahlungsquellen, die Quecksilber-Hochdrucklampe verfärbt konventionelle Kunststoffe stärker. Da ein hoher UV-C Anteil der Bestrahlungsquelle Oberflächenveränderungen der Kunststoffe mit Belagbildung hervorruft und die Farbmessung erschwert, ist die Quecksilber-Niederdrucklampe nicht, die Xenon-Hochdrucklampe nur mit Filter für Bestrahlungen von Kunststoffproben unter Wasser geeignet.

4. SCHRIFTTUM

1. American Dental Association: Guide to Dental
Materials and Devices.
Amer. Dent. Ass., Chicago 1974
2. BEECH, D. R., The Role of the Filler-Matrix
BROWN, D.: Interface in Composite Restorative
Materials Based on Poly (Methyl-
methacrylate).
Brit. dent. J. 133, 297 - 300
(1972)
3. BOHREN, H.: Klinische Untersuchungen über Ver-
färbung von Kaltplastik.
Quintess. zahnärztl. Lit. 15, H. 12,
Ref. Nr. 2508 (1964)
4. BOHREN, H.: Materialprüfung mit einfachen
Mitteln.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 81, 669
(1971)
5. BOWEN, R. L. and Diminishing Discoloration in Metha-
H. ARGENTAR: crylate Accelerator Systems.
J. Amer. dent. Ass. 75, 918 - 923
(1967)
6. CASTAGNOLA, L. und Über Polymerisationsvorgänge und
M. MARX: Farbveränderungen der selbstpoly-
merisierenden Kunstharze.
Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 1105 (1953)

7. CASTAGNOLA, L. und H. v. ARX: Selbstpolymerisierende Kunststoffe. Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 64, 1103, 1245 (1954)
8. CASTAGNOLA, L. und R. GARBEROGLIA: Heutiger Stand und Zukunftsaussichten der plastischen Füllungsmaterialien (II). Quintess. zahnärztl. Lit. 23, H. 7, Ref. Nr. 4587 (1972)
9. CAUL, H. J. and I. C. SCHOONOVER: The Color Stability of Direct Filling Resins. M. Amer. dent. Ass. 47, 448 (1953)
10. Commonwealth Bureau of Dental Standards: Draft No. 3 of Revision of ISO Dental Recommendation R 1567 for Denture Base (Polymer) Resin. Australia, 1973
11. COY, H. D.: Silicate Cements and Direct Filling Resins: A Comparative Study. J. Amer. dent. Ass. 56, 848 (1958)
12. Deutscher Normenausschuß: Strahlungsphysik im optischen Bereich und in der Lichttechnik. DIN 5031, Blatt 1, 3, 5
13. Deutscher Normenausschuß: Farbmessung. DIN 5033, Blatt 1, 2, 3, 4
14. Deutscher Normenausschuß: Farbabmusterung. DIN 6173, Blatt 1, Entwurf (1973)

15. Deutscher Normenausschuß: Kunststoffzähne, Anforderung und Prüfung.
DIN 13 914, Entwurf (1973)
16. Deutscher Normenausschuß: Prüfung von Kunststoffen.
Bestimmung der Lichtechtheit gegenüber Tageslicht.
DIN 53388
17. Deutscher Normenausschuß: Bestimmung der Lichtechtheit gegenüber Xenonbogenlicht.
DIN 53389
18. EICHNER, K.: Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihre Verarbeitung.
Berlinische Verlagsanstalt,
Berlin, 2. Auflage, 1967
19. ENGELHARDT, J. P.: Neue Kunststoffe in der zahnärztlichen Prothetik.
Zahnärztl. Prax. 20 (1969)
20. ERNI, H.: Farbbeständigkeit und Toxizität selbsthärtender zahnärztlicher Kunststoffe.
Med. Diss. Zürich, 1957
21. FDI-Spezifikation Nr. 3: Spezifikation für Prothesenkunststoffe.
Zahnärztl. Mitt. 57, 111 (1967)
22. FISCHER, C.-H.,
H. STEGEMANN und
E. WILDHAGEN: Experimentelle Untersuchungen über die Farbbeständigkeit schnellhärtender Kunststoffe.
Dtsch. zahnärztl. Z. 9, 1073 (1954)

23. FISCHER, C.-H.: A new prepolymerized direct filling resin.
Int. dent. J. 15, 377 (1965)
24. FISCHER, C.-H.,
G. KNOLLE: Zur klinischen Kontrolle von Zahnfüllungen aus einem neuen Kunststoff-Füllmaterial.
Dtsch. Zahnärztebl. 23, 251 (1969)
25. GEUTLER, G.: Zur Farbmessung nach dem Dreibereichsverfahren.
Ing. Diss. TU Berlin 1974
26. HAISEL, M.: Werkstoffkundliche und klinische Untersuchungen mit modernen zahnfarbenen Kunststoffen.
Med. Diss. Rostock, 1965
27. HERTING, H. A.: Experimentelle Untersuchungen über die Farbbeständigkeit des schnellhärtenden Kunststoffes.
Med. Diss. Kiel, 1953
28. HINTZE, H.: Klinische und physikalische Untersuchungen der Farbbeständigkeit von zahnärztlichen Füllungskunststoffen.
Zahnmed. Diss. FU Berlin, 1975
29. HIRT, R. C.,
R. G. SCHMITT,
N. D. SEARLE and
A. P. SULLIVAN: Ultraviolet Spectral Energy Distribution of Natural Sunlight and Accelerated Testlight Sources.
J. Optic. Soc. Amer. 50, 706 (1960)

30. Internationale Beleuchtungskommission: Empfehlung für
die Gesamtbestrahlungsstärke und
die spektrale Verteilung künstli-
cher Sonnenstrahlung für Prüfzwecke.
Publication C. I. E. No. 20
(TC - 2.2), 1971
31. ISO-Recommendation, Doc. R. 879: Determination of Re-
sistance of Plastics to Color Change
upon Exposure to Light of a Xenon
Lamp.
1st Edition Schweiz, 1968
32. ISO-Recommendation, Doc. R. 1567: Denture Base Polymer.
London, 1972
33. ISO/DIS 4049: Resin-Based Filling-Materials.
London, 1976
34. ISO/TC 106 WG 2 Doc. 106: Draft International Stand-
ards for Synthetic Resin Teeth.
Stockholm, 1973
35. ISO/TC 106 WG 1 Doc. 110: Resin Based Filling-Materials.
Summary of Comments by WG 1 Members
on Color-Stability Testing.
London, 1973
36. JAHNKE, G.: Über Abbauvorgänge an zahnärztli-
chen Kunststoffen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 684 (1967)
37. KAPSIMALIS, P.,
R. EVENS and
E. STERLING: Color-Stability and Resistance to
Staining of Resin Veneering Mate-
rials.
J. Proth. Dent. 14, 925 (1964)

38. KAUFMANN, D.: Wichtige mechanisch-physikalische Eigenschaften des Palavits im Vergleich zu anderen schnellhärtenden Kunststoffen und anderen Füllungsmaterialien.
Med. Diss. FU Berlin, 1955
39. LANDOLT - BÖRNSTEIN: Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik, Technik, Band I/2,3/2859, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1972
40. LANGE LAND, L. K., I. GUTTUSO, D. R. JEROME and K. LANGE LAND: Histologic and clinical Comparison of Addent with Silicate Cements and Cold Curing Materials. J. Amer. dent. Ass. 72, 373 (1966)
41. LENZ, H. und J. VIOHL: Werkstoffkundliche Untersuchungen mit einem neuen Kunststoff-Füllungs-material.
Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 218 (1968)
42. MARX, H.: Zur Frage der Farbbeständigkeitsprüfung zahnärztlicher Kunststoffe. Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 1472 (1968)
43. MARTIN, R.: Untersuchungen über Verfärbungen bei Palavit.
Dtsch. Zahnärztebl. 7, 225 (1953)

44. McLEAN, J. W. and Composite Anterior Filling-Mate-
G. SHORT: rials: A Clinical and Physical
Appraisal.
Brit. dent. J. 127, 9 (1969)
45. MEYER, A. E. H. und Ultraviolette Strahlen.
E. O. SEITZ: Walter de Gruyter, Berlin, 1949
46. Modern Plastics Polymethylmethacrylate Plastics,
Encyclopedia: Catalog Corporation, New York 1968
47. Osram-Liste E Dezember 1973
48. Osram-Liste XBO März 1974
49. PAFFENBARGER, G. C.: Some Clinical Application of
Research Findings in Dental
Materials.
Ohio dent. J. 33, 18 (1959)
50. PASSOW, H.: Über Polymerisationsvorgänge
und Farbveränderungen der selbst-
polymerisierenden Kunstharze.
Dtsch. zahnärztl. Z. 9, 35 (1954)
51. PETERSON, E. A., A Comparison of the Physical
R. W. PHILLIP and Properties of Four Restorative
M. L. SWARTZ: Resins.
J. Amer. dent. Ass. 73, 1324
(1966)
52. REHBERG, H. J.: Die Ursache der Verfärbung schnell-
härtender Kunststoffe.
Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheil-
kunde 18, 142 (1953)

53. RICHTER, M.,
H. WEISE: Zum Vergleich verschiedener Farb-
Abstandsformeln.
Farbe, 18, 149 (1969)
54. RINK, G.: Beitrag zum gegenwärtigen Stand
der direkten Kunststoff-Füllungen.
Zahnärztl. Welt 7, 180 (1952)
55. ROLLMANN, C. H.: Lichtbeständigkeit und Oberflächen-
bearbeitung der schnellhärtenden
Kunststoffe.
Med. Diss. FU Berlin, 1955
56. RYGE, G.,
M. A. SNYDER and
S. C. MORGAN: Problems in Clinical Research
Especially as They Relate to the
Adequate Characterisation of the
Materials Being Tested.
54th Annual Session of the FDI,
Tel Aviv, 1966
57. SCHMIDT, E.: Verfärbungen und Polierfähigkeit
des neuen zahnärztlichen Füllungs-
kunststoffes F 1.
Med. Diss. FU Berlin, 1968
58. SCHROEDER, A.: Stand der Erfahrungen auf dem Ge-
biet der neuen Kunststoff-Komposi-
tionsmaterialien auf der Basis
der Bowen-Formel.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 81, 999
(1971)

59. SCHULZ-LANGENDORF, J.: Vorläufige klinische Erfahrungen mit schnellhärtenden Kunststoffen bei der Zahnerhaltung.
Med. Diss. Göttingen, 1953
60. SPRETER von KREUDENSTEIN, Th.: Kariestherapie mit schnellhärtenden Kunststoffen.
Carl Hanser-Verlag München, 1952
61. VIOHL, J.: Werkstoffkundliche Untersuchungen der Wasseraufnahme und Biegefestigkeit von Kunststoff-Füllungs-materialien.
Dtsch. zahnärztl. Z. 29, 442 - 449
(1974)

5. TABELLENANHANG

Fabrikat		Chargennummer
SH	Pulver 71312	
Paladon	Pulver 4102794	Flüssigkeit 4101403
Palapress	Pulver ohne	Flüssigkeit 8 b
Paladur	Pulver 3810 4104162	Flüssigkeit 4101553
Palaferm Farbe 221	Pulver 786	Flüssigkeit 248
Palavit 55 Farbe 9	Pulver ohne	Flüssigkeit 1304
Sevriton Farbe S 2	Pulver MD 3, OL 2, OK 1	Flüssigkeit OL 1
Palakav Farbe B	ohne	
TD 71 Farbe 21	Kapseln O161	Flüssigkeit OO 1DH Aktivator OO5 EC
Adaptic	HR 18137-DO 2759 1764D27/4EO27	
Concise	ohne	
Cosmic	Basispaste PD 45 RH 22	Katalysatorpaste PE 1 RH 21
Estic Farbe C	Basispaste 17 a	Katalysator 41107

Tab. 9 Chargennummern der Materialien

Werte zu den Licht- und Strahlungsmessungen

Abschnitt 2.2.2.3.

Meßwerte 178 mm unter den Lampen von innen
nach außen aufgenommen

Radien der Kreise: 75 mm 115 mm 155 mm 195 mm

Tab. 10 S 1-Lampe, UV-Strahlung
(alle Werte x 0,44 mW/cm²)

Mittelpunktwert	1. Kreis	2. Kreis	3. Kreis	4. Kreis
16	13,5	10,5	7,3	3,7
	13,0	10,0	6,6	3,8
	13,0	10,5	7,3	3,2
	14,5	10,0	7,1	4,0
	12,5	10,0	7,3	3,5
	12,5	9,5	5,3	3,0
	12,0	8,0	4,6	2,4
	10,5	7,5	3,6	2,6
	10,5	7,0	4,0	2,1
	10,0	5,5	3,0	2,0
	11,0	5,5	3,0	2,0
	11,0	6,5	3,9	2,1
	11,0	7,5	4,4	2,7
	11,5	9,0	4,9	3,0
	13,0	9,0	4,4	3,2
	13,0	9,5	7,0	3,5

Tab. 11 S 1-Lampe, sichtbares Licht
(alle Werte x 26,3 lx)

Mittelpunktwert	1. Kreis	2. Kreis	3. Kreis	4. Kreis
280	181	113	77	48
	178	112	79	52
	184	125	88	57
	193	128	95	60
	204	130	100	63
	213	140	104	65
	220	145	106	65
	225	157	110	67
	221	165	107	69
	211	144	97	62
	203	134	87	59
	207	136	93	59
	216	144	94	63
	224	147	102	64
	212	136	94	60
	192	121	82	51

Tab. 12 Hg-Hochdrucklampe, UV-Strahlung
(alle Werte x 1 mW/cm²)

Mittelpunktwert	1. Kreis	2. Kreis	3. Kreis	4. Kreis
4,2	3,3	2,5	1,5	1,3
	3,5	3,0	2,3	1,2
	4,4	4,2	3,9	1,5
	5,2	5,3	4,5	2,7
	5,2	5,5	5,0	2,9
	5,0	5,2	4,7	3,7
	4,6	4,6	4,2	3,1
	4,2	3,9	3,4	2,1
	3,8	3,0	2,2	1,3
	4,0	3,2	2,8	1,7
	4,2	3,7	3,4	2,5
	4,3	4,2	3,9	2,9
	4,3	4,5	4,2	3,2
	4,3	4,4	4,1	2,6
	4,0	3,9	3,1	1,8
	3,4	3,2	2,5	0,8

Tab. 13 Hg-Hochdrucklampe, sichtbares Licht
(alle Werte x 2,63 lx)

Mittelpunktwert	1. Kreis	2. Kreis	3. Kreis	4. Kreis
1121	774	589	436	269
	869	955	850	563
	1198	1183	1049	803
	1342	1259	1217	953
	1345	1316	1249	956
	1262	1254	1165	914
	940	1020	972	781
	850	658	552	370
	960	782	636	414
	1001	969	957	722
	1059	1109	1007	749
	1123	1061	970	683
	1080	1073	945	650
	983	1006	891	583
	868	818	742	488
	816	645	500	272

Tab. 14 Xenon-Hochdrucklampe, UV-Strahlung
(alle Werte x 0,1 mW/cm²)

Mittelpunktwert	1. Kreis	2. Kreis	3. Kreis	4. Kreis
12	14	12	8	3
	14	11	6	2,5
	13	11	6,5	2,5
	12,5	10,5	7,5	3,5
	12	10,5	7,5	3,5
	12	11	8	4
	12	10,5	8	5,5
	11,5	10	7,5	5
	13	11,5	9,5	5,5
	13	12,5	10	7
	12,5	13	10,5	7
	13	14	11	7
	15	14	10,5	6
	14,5	13	10	5
	15	12	9	4,5
	14	13	8,5	4,5

Tab. 15 Xenon-Hochdrucklampe, sichtbares Licht
(alle Werte x 2,63 lx)

Mittelpunktwert	1. Kreis	2. Kreis	3. Kreis	4. Kreis
1320	503	454	340	102
	519	475	379	228
	538	505	342	150
	551	495	343	186
	569	522	431	258
	574	517	407	239
	575	534	405	265
	571	536	432	272
	566	514	397	254
	573	517	396	233
	532	510	395	230
	493	483	358	216
	532	470	323	163
	518	431	300	184
	500	439	338	183
	511	435	330	187

Tab. 16 7 x Hg-Niederdrucklampe, UV-Strahlung
(alle Werte x 0,1 mW/cm²)

Mittelpunktwert	1. Kreis	2. Kreis	3. Kreis	4. Kreis
1,4	1,3	1,1	1,0	0,8
	1,3	1,1	1,0	0,8
	1,3	1,0	0,9	0,8
	1,25	1,0	0,9	0,8
	1,25	1,0	0,9	0,8
	1,25	1,0	0,9	0,8
	1,25	1,1	1,0	0,8
	1,3	1,1	1,0	0,8
	1,3	1,1	1,0	0,8
	1,3	1,1	1,0	0,85
	1,3	1,1	1,0	0,85
	1,35	1,15	1,05	0,85
	1,35	1,15	1,05	0,8
	1,35	1,1	1,0	0,8
	1,3	1,1	1,0	0,8
	1,3	1,1	1,0	0,75

Tab. 17 7 x Hg-Niederdrucklampe, sichtbares Licht
(alle Werte x 0,263 lx)

Mittelpunktwert	1. Kreis	2. Kreis	3. Kreis	4. Kreis
473	467	446	399	339
	434	418	392	335
	435	418	360	284
	436	400	315	255
	432	377	295	236
	420	379	302	245
	403	385	326	234
	418	375	330	277
	441	405	343	289
	430	390	345	289
	422	391	351	294
	438	403	343	293
	443	412	349	291
	450	417	361	300
	454	423	388	331
	458	433	392	336

An dieser Stelle möchte ich Herrn Professor Dr. Joachim Viohl für die Überlassung des Themas sowie die wertvollen Anregungen und Hinweise zur Untersuchung danken.

Mein Dank gilt außerdem den Herren Prof. Dr. J. Krochmann und Dr. G. Geutler vom Licht-technischen Institut der Technischen Universität Berlin für die Beratung bei Auswahl und Konstruktion der Bestrahlungsquellen.

Der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin, Fachgruppe Farbmeterik (Leiter Reg. Dir. Dr. ing. H. Terstiege) und den Mitarbeitern des Laboratoriums für Farbmessung, insbesondere den Herren Dr. Gundlach und Ing. Mallwitz, gebührt besonderer Dank für die Durchführung der Farbmessungen und die Berechnung der Farbabstände.

L E B E N S L A U F

=====

Am 31. März 1949 wurde ich, Werner Schulze, als Sohn des Reichsbahninspektors Gerhard Schulze und seiner Ehefrau Mathilde Schulze, geb. Wetzel, in Ostberlin geboren.

1955 wurde ich dort eingeschult. 1961 ging die Familie nach Westberlin, wo ich 1969 nach dem Besuch der Robert-Blum-Oberschule die Reifeprüfung ablegte.

Im Sommersemester 1969 nahm ich an der Freien Universität Berlin das Studium der Zahnmedizin auf. 1971 legte ich dort die zahnärztliche Vorprüfung und 1974 das Staatsexamen ab.

Mit meiner Dissertation begann ich im Herbst 1974.

